Constantin **AGOURIDAS** • Jean-Claude **BERNIER** • Danièle **OLIVIER** • Paul **RIGNY**

# LA Chimie DANS LA VIE quotidienne

COLLECTION CHIMIE ET... JUNIOR

edp sciences

Fondation de la Maison de la Chimie

# LA Chimie DANS LA VIE quotidienne

COLLECTION CHIMIE ET... JUNIOR

**Présente dans tous les domaines de notre vie quotidienne** et au cœur des **innovations** pour nous apporter plus de confort, plus de sécurité et garantir le respect de l'environnement, la **chimie** nous concerne tous.

Se soigner, se nourrir, se laver, s'habiller, se loger, se déplacer… toutes ces actions font directement intervenir des applications de la chimie et les progrès de la Recherche améliorent directement notre qualité de vie !

Avec Max et Léa, découvre et comprends la contribution des chimistes :

- **à la conception d'objets du quotidien :** dans ta maison et dans les transports ;
- **à ton bien-être :** bien te soigner mais aussi bien te nourrir ;
- **à ta qualité de vie :** la propreté de ton environnement, tes soins corporels et la beauté de ta peau ;
- **au respect de l'environnement :** réduire notre consommation en pétrole et savoir utiliser les substances naturelles comme un merveilleux jardin à notre disposition.

Max et Léa te montreront aussi que, derrière cette chimie du quotidien, il y a une industrie forte, une recherche dynamique, des emplois et des métiers divers et variés.

Enfin, avec un **coin des jeux**, tu pourras en t'amusant tester tes connaissances en chimie et en mathématiques.

La collection **Chimie et... Junior** est destinée principalement aux collégiens. Son but est d'expliquer de façon simple, agréable et même amusante, les applications des sciences de la chimie dans notre vie quotidienne et d'aider ceux qui souhaiteraient s'orienter vers les métiers de cette discipline.

www.edpsciences.org
edp sciences
Fondation de la Maison de la Chimie
ISBN : 978-2-7598-2292-8
13 €
9 782759 822928

Constantin **AGOURIDAS** • Jean-Claude **BERNIER** • Danièle **OLIVIER** • Paul **RIGNY**

## CHIMIE ET... JUNIOR

Collection dirigée par Bernard **BIGOT**, Président de la Fondation Internationale de la Maison de la Chimie

# LA Chimie DANS LA VIE quotidienne

edp sciences

Fondation de la Maison de la Chimie

Les textes de cet ouvrage sont en partie inspirés des livres de la collection *Chimie et….*, collection dirigée par la Présidence de la Fondation de la Maison de la Chimie, publiée par EDP Sciences : *Chimie et enjeux énergétiques* (2013), *Chimie et habitat* (2011), *Chimie et transports* (2013), *Chimie et santé* (2009), *Chimie et alimentation* (2010), *Chimie et nature* (2012), *Chimie, dermo-cosmétique et beauté* (2017).

**Constantin Agouridas :** directeur Programmes et Projets à la Fondation de la Maison de la Chimie, ex-directeur de Recherche Aventis et Galderma, ex-professeur et directeur de Relations Industrielles à l'ENS Chimie-ParisTech

**Jean-Claude Bernier :** professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur de l'Institut de Chimie du CNRS

**Danièle Olivier :** professeure des universités, vice-présidente de la Fondation de la Maison de la Chimie, ancien directeur de l'ENS Chimie-ParisTech

**Paul Rigny :** ancien rédacteur-en-chef de L'Actualité Chimique, ancien directeur de l'Institut de Chimie du CNRS

Pour le coin des jeux, **Michel Criton** est professeur certifié de mathématiques. Il est président de la Fédération française des jeux mathématiques et membre de la rédaction des magazines Tangente et Spécial Logique.

Illustrations (conception - production) : Cécile Parry

Composition : Patrick Leleux PAO

Imprimé en France

ISBN (papier) : 978-2-7598-2292-8 – ISBN (ebook) : 978-2-7598-2293-5 – ISSN : 2426-0185

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinés à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences, 2018

# SOMMAIRE

Introduction ..... 5

## PARTIE 1 LES OBJETS DU QUOTIDIEN

**1.** Dans la maison et la cuisine ..... 8
**2.** En voiture ..... 19

## PARTIE 2 LE BIEN-ÊTRE

**3.** Les apports dans l'alimentation ..... 30
**4.** Au service de la santé ..... 44

## PARTIE 3 L'HYGIÈNE ET LA BEAUTÉ

**5.** Les produits d'hygiène et de soins corporels ..... 56
**6.** La peau au quotidien : protection et embellissement ..... 72

## PARTIE 4 LA CHIMIE DU VÉGÉTAL

**7.** Au revoir le pétrole, bonjour les plantes ..... 96
**8.** Les substances naturelles : le magasin du bon Dieu ..... 114

**9.** Où travaillent les chimistes ..... 129

## PARTIE 5 LE COIN DES JEUX

**10.** Énigmes ..... 134
**11.** Mots croisés ..... 141

# INTRODUCTION

Nous avons créé la collection **« Chimie et… junior »** pour faire découvrir agréablement aux collégiens et aux lycéens les applications récentes et les innovations actuelles ou attendues des **sciences de la chimie** dans les domaines qui les motivent et/ou les concernent.
Notre objectif est de les **intéresser aux sciences**, non seulement à celles **de la chimie**, mais aussi à celles **de ses interfaces avec la physique, les sciences de la vie et de la Terre, les mathématiques, la technologie…**

**C'est de la coopération entre les chercheurs et ingénieurs de ces disciplines que naissent les innovations dans tous les domaines.**

L'accès aux données scientifiques récentes et rigoureuses est difficile pour les enseignants et les familles, les vulgarisations sont rares et leur assimilation prend du temps pour les non experts. **Pourtant, derrière ces applications interdisciplinaires de la chimie, il y a une recherche dynamique, des industries fortes et la possibilité d'exercer de nombreux métiers divers et variés** (Recherche et Développement, fabrication, analyses, maintenance, marketing…) qui sont encore mal connues.

Les auteurs sont tous membres de l'équipe pédagogique de la Fondation de la Maison de la Chimie et de la médiathèque en ligne www.mediachimie.org. Ils travaillent en partenariat étroit avec le Ministère de l'éducation nationale : la Direction Générale de l'Enseignement Scolaire (DGESCO) et l'Inspection Générale (IPGEN). Les thèmes traités dans cette collection font partie de la réforme des programmes du cycle C4 des collèges et s'inspirent déjà des objectifs qui vont guider les nouveaux programmes des lycées.

L'année scolaire 2018-2019 est **l'Année de la Chimie : de l'École à l'Université**, c'est également l'occasion de publier un nouveau titre après les quatre premiers volumes parus de cette collection chimie et junior :
– La chimie dans le sport (2014)
– La chimie dans les technologies de l'Information et de la Communication (2015) qui a obtenu le coup de cœur du Prix Roberval
– La chimie et la sécurité des personnes des biens, de la santé et de l'environnement (2016)
– La chimie l'Energie et le Climat (2017)

**La chimie étant présente partout dans la vie quotidienne, nous avons choisi de présenter ses principales applications avec :**
– les nombreux **nouveaux matériaux** des objets qui nous entourent ;
– les progrès de la chimie et de la biochimie ainsi leurs applications dans le domaine de la **santé** et de l'**alimentation** ;

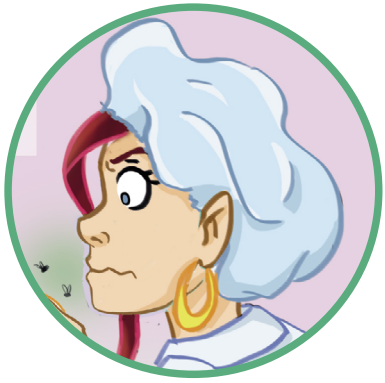
– les apports de la chimie et de la biochimie dans l'évolution des **produits d'hygiène** et dans la **protection de la peau** (protection solaire et vieillissement) ;
– la richesse des possibilités offertes par la **chimie du végétal** et la **chimie des substances naturelles**.

Les applications dans ce domaine sont nombreuses et nous n'avons développé que certaines thématiques testées sur des collégiens et des lycéens. Nous espérons que ce choix plaira à leurs camarades et qu'il sera à la base de discussions enrichissantes avec leurs enseignants et leur entourage.

Danièle Olivier
Vice-Présidente de la Fondation de la Maison de la Chimie

1 PARTIE

# LES OBJETS DU QUOTIDIEN



# DANS LA MAISON ET LA CUISINE

Pour l'homme de Cro-Magnon qui ne cueillait que les fruits de la nature et chassait pour se nourrir, ses seuls contacts avec la chimie se résumait à la combustion du bois s'il disposait du feu et le dessin sur les parois de son abri avec le carbone du charbon de bois et les pigments rouge à base d'oxyde de fer.

Pour l'homme moderne, en dix millénaires, les choses ont évolué, la Terre qui à l'époque ne comptait qu'un million d'humains, en compte près de sept milliards aujourd'hui. Avec cet incroyable accroissement de la population mondiale, les besoins en matériaux, en énergie, en alimentation, en soins de santé n'ont cessé d'augmenter. La chimie a été essentielle pour fournir les métaux et les aciers, les carburants, le plastique, les engrais, les médicaments pour nous rendre la vie plus facile et plus longue. Dans un environnement où on se déplace à grande vitesse, on mange de tout, on communique avec le monde entier, on est surconnecté, la chimie est omniprésente dans notre vie de tous les

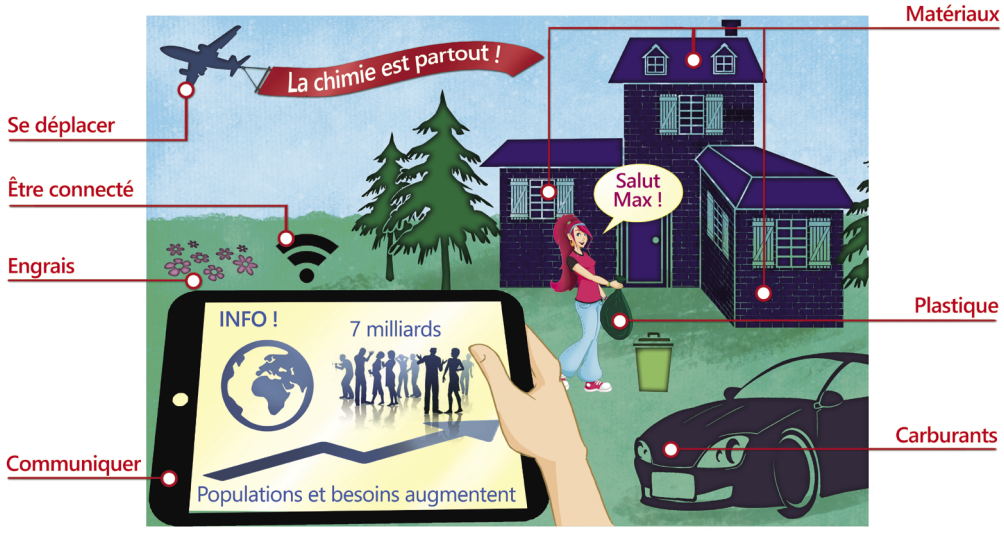



**Figure 1**

La chimie omniprésente au quotidien.

jours mais on ne s'en aperçoit plus tant ces comportements sont devenus naturels (*Fig. 1*). Les applications de la chimie dans notre vie sont innombrables, on ne peut les citer toutes, nous prendrons quelques exemples pris dans la maison, la cuisine et le transport.

# La maison

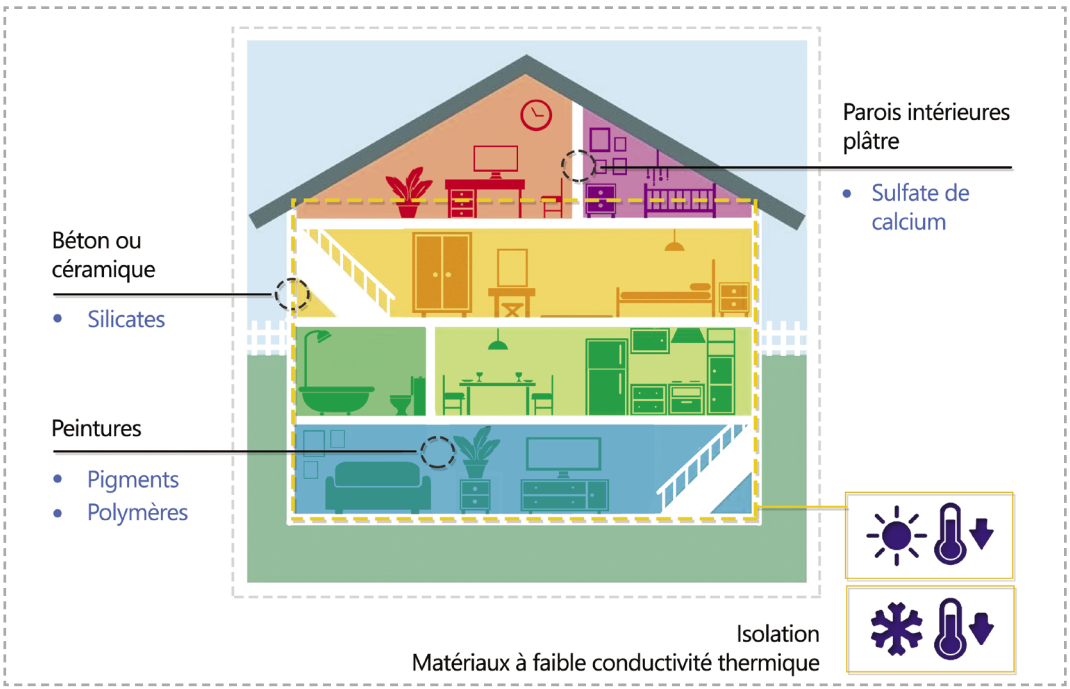
Lorsque je suis dans ma maison, je suis entouré de chimie sans que je le sache vraiment (*Fig. 2*) :

- Les briques ou les parpaings des murs sont en bêton ou céramique (des silicates) ;
- les parois intérieures et le plafond sont recouverts de plâtre (du sulfate de calcium) ;
- les peintures contiennent des pigments et des polymères.

Si ma maison n'est pas trop ancienne, la construction a dû respecter un certain nombre de normes pour économiser l'énergie et pour diminuer

**Figure 2**

La chimie dans les matériaux de construction de la maison.



les dépenses du chauffage. Pour le confort des habitants, il faut que l'été par temps chaud elle soit fraîche et l'hiver par temps froid qu'elle soit confortable à une bonne température. Tout est conditionné par les échanges de calories entre l'extérieur et l'intérieur de ma maison. C'est grâce à la chimie que l'on obtient des matériaux qui ont la plus faible conductivité thermique.

## Qu'est-ce que la conductivité thermique λ ?

Elle est exprimée en watts par degré K et par mètre. Elle varie suivant les matériaux :

- les métaux sont en général de bons conducteurs de la chaleur ;
- les matériaux de construction verre ou céramique conducteurs moyens ;
- les gaz plutôt mauvais conducteurs ;
- le vide est isolant.

## Les matériaux de construction

### Les blocs de bêton et de céramique

On utilise des parpaings de bêton ou des briques en céramique pour la construction.

Les parpaings de bêton sont constitués :

- de sable qui est de la silice $SiO_2$ ;
- du ciment qui est un mélange de silicates de calcium et d'aluminate de formules $SiCa_2$, $SiCa_3$, $Al_2O_4Ca$ ;
- de l'eau qui ajoutée au ciment pour faire une pâte, lui permet de faire prise et se solidifier en quelques heures.

La brique en céramique est une brique isolante qui est composée :

- d'argiles extraites du sol qui comportent des silicates et des aluminosilicates de formule générale $(NaAlMgSiO_2)_n\ H_2O$ ;
- de l'eau qui, mélangée au broyat d'argile, permet de faire une pâte.

La pâte est ensuite moulée ou extrudée sous forme d'une brique creuse qui est séchée et cuite à 900 °C. Ces briques faites de parois fines aux nombreuses alvéoles d'air sont de bien meilleurs isolants que les parpaings de ciment (*Fig. 3*).

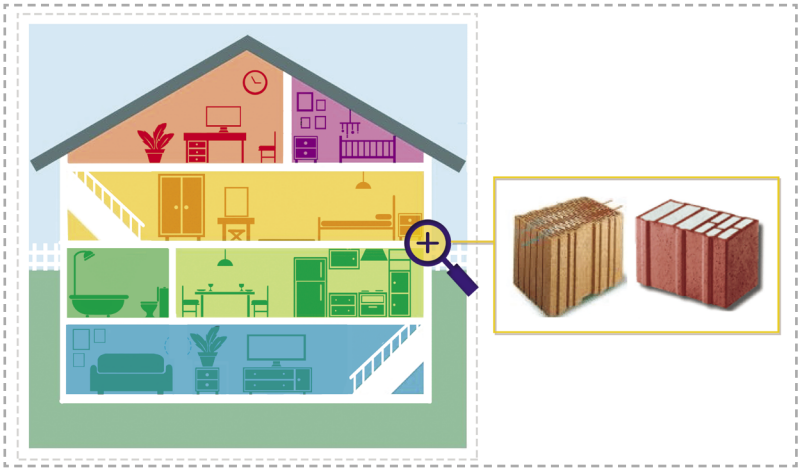


**Figure 3**

Les briques alvéolées en céramique sont isolantes pour la construction des maisons.

# Les isolants

## Les fibres de verre

Pour économiser les calories, on remplit les doubles parois des murs ou on déploie sous le toit, dans les combles, des isolants.
Ce sont par exemple des fibres de verre qui sont contrecollées sur une feuille de papier ou répandues sur une épaisseur de 10 à 30 cm dans les combles pour faire un tapis de laine de verre.
La composition générale est de type ($SiO_2$, $Na_2O$, Cao, $Al_2O_3$). Elles ont un coefficient $\lambda$ très faible.

## Les isolants organiques

Ce sont souvent des plaques de polystyrène expansé (PE) ou extrudé très légères, constituées d'un polymère qui contient énormément de bulles d'air emprisonnées à l'intérieur de ces plaques.

Elles ont un pouvoir d'isolation thermique qui croît avec l'épaisseur, de 2 à 10 cm.

# Les vitrages

## Le simple vitrage

Pour éclairer la maison de la lumière du Soleil, il faut des fenêtres. Depuis le Moyen Âge, elles sont en verre.

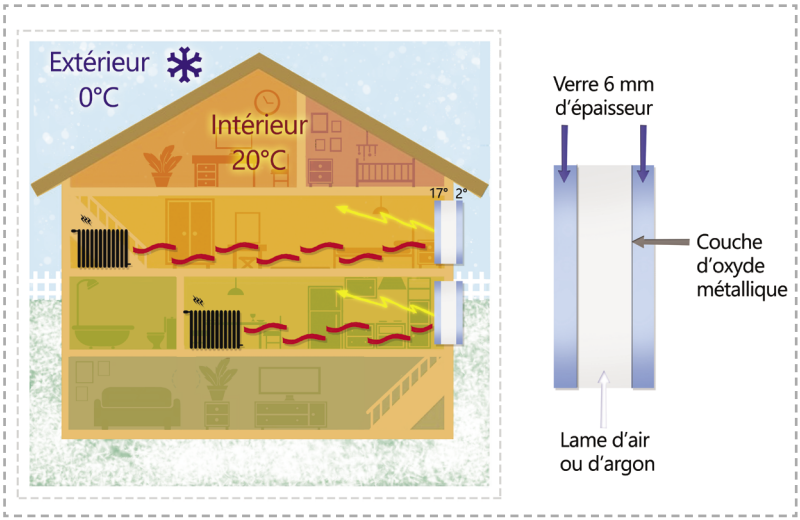
Ce matériau n'est pas très bon conducteur de la chaleur mais la vitre simple n'est pas non plus un très bon isolant thermique.
En hiver par temps froid, elle se couvre facilement, à l'intérieur, de buée et même de givre.

## Les vitrages isolants

- Le double vitrage
  Aujourd'hui, on utilise des fenêtres dont les feuillures sont en PVC (polychlorure de vinyle) et la simple vitre est remplacée par une double lame de verre épaisse de 4 mm séparée par un espace de 16 mm qui contient de l'air sec.
- Les vitrages à isolation renforcée
  – On remplace l'air sec par de l'argon, un gaz rare deux fois moins conducteur.
  – On dépose une mince couche de nanométaux ou oxydes métalliques sur une face intérieure d'une lame de verre. Cette couche va laisser passer les rayons du Soleil mais réfléchir le rayonnement infrarouge émis de l'intérieur (*Fig. 4*).

**Figure 4**

Les vitrages à isolation renforcée.




Tous ces matériaux qui ont mis à contribution la chimie et les procédés chimiques concourent au confort et à la vie dans la maison. Ils ont aussi un rôle important pour économiser les dépenses énergétiques.

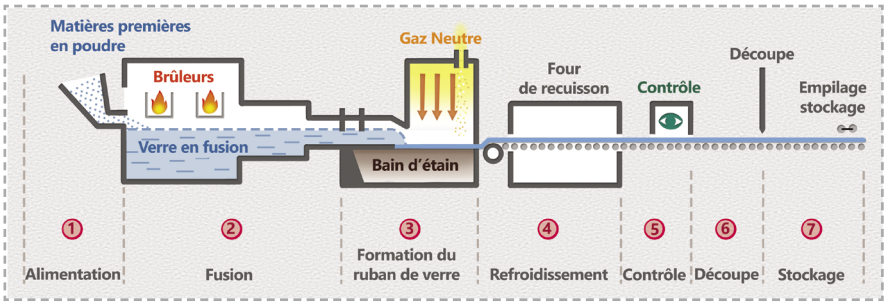
La consommation d'énergie a été divisée par cinq par rapport à une maison ancienne traditionnelle.
Dans le classement de l'efficacité énergétique, ces aménagements permettent d'atteindre la lettre A qui correspond à une valeur de 50 kWh/m²/an et dans le futur parviendront au classement BBC, c'est-à-dire dépenses nulles ou même positives.

## Comment fabrique-t-on une vitre ?

Le « float glass » ou verre flotté, une invention formidable.

**Figure 5**

Procédé de fabrication du verre.




Inventé par Sir Alastair Pilkington de 1952 à 1959, il permet de faire des vitres transparentes ou colorées dans des épaisseurs qui vont de 0,4 à 25 mm.
Les matières premières :

- le calcin (débris de verre à recycler) ;
- le sable ($SiO_2$) ;
- la soude $CO_3Na_2$ ;
- la dolomie ($CO_3Ca$,$CO_3Mg$).

Les différentes étapes de fabrication (*Fig. 5*) :

1. les matières premières sont introduites dans le four et fondue à 1 550 °C ;
2. le bain fondu s'homogénéise durant près de 24 heures ;
3. le bain est coulé de façon continue sur un bain d'étain fondu à environ 1 100 °C ;
4. pour que l'étain liquide reste bien brillant et ne s'oxyde pas en $SnO_2$, on le garde dans une atmosphère légèrement réductrice d'azote $N_2$ avec un peu d'hydrogène $H_2$ ;
5. on obtient un ruban de verre poli au feu muni de deux surfaces parallèles et parfaitement planes. Ce ruban passe ensuite dans un four de recuit pour libérer les tensions internes ;
6. le ruban est découpé. L'épaisseur du verre est réglée finement par la vitesse d'entraînement du ruban qui défile sur des rouleaux réfractaires.

Actuellement, toutes les usines verrières sont équipées du procédé, dont, en France (Saint-Gobain), une installation de « float glass » qui fournit annuellement environ 6 000 km de verre plat. Un milllion de tonnes est ainsi fabriqué en France.

# La cuisine

## Le cuivre, du métal dans la cuisine

Le cuivre (Cu) est un métal bien présent dans la cuisine :

- les tuyaux qui amènent l'eau sur l'évier ;
- les fils électriques gainés d'isolants plastiques qui donnent le courant pour l'énergie nécessaire à la cuisson des aliments ;
- les belles casseroles brillantes de nos grands-mères suspendues au mur ainsi que la bassine en cuivre pour réaliser de bonnes confitures.

### La chimie des bonnes confitures

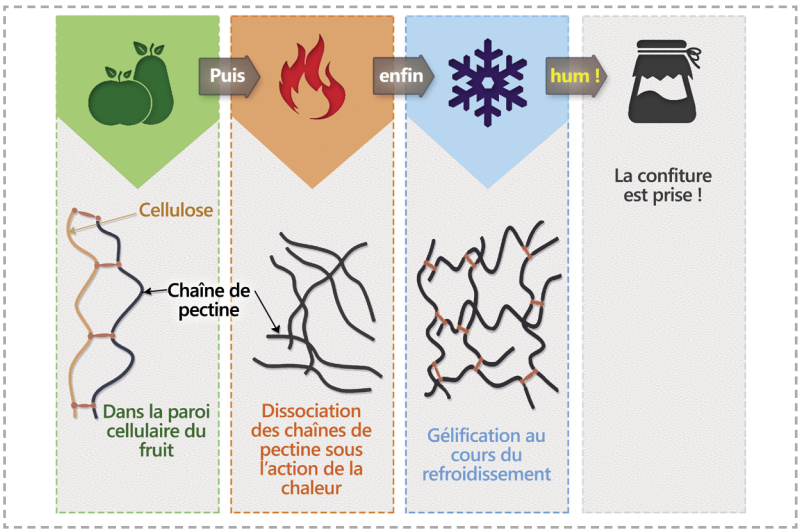
Les fruits sont constitués de longues chaînes de molécules, appelées pectines, associées aux membranes de cellulose qui donnent consistance à la chair du fruit.

Pour faire une bonne confiture, il faut :

- ajouter du sucre aux fruits ;
- un peu de jus de citron (acide citrique) ;
- faire cuire le tout, si possible, dans une bassine en cuivre jusqu'à l'obtention d'un gel, on dit que « la confiture fait prise ».

**Figure 6**

La confiture, c'est aussi de la chimie !



Dans une bonne confiture, les molécules de pectines sont bien reliées entre elles par des ponts qui sont des liaisons hydrogène.

Le sucre a deux rôles :

- il fixe l'eau en favorisant les ponts entre les molécules de pectines ;
- il permet d'augmenter la température de cuisson.

L'acidité naturelle des fruits et du jus de citron ($H^+$) favorise la forme acide des pectines qui renforce les liaisons.

**Alors pourquoi la bassine en cuivre ?**

En milieu acide, le cuivre est oxydé par l'oxygène de l'air en ions cuivriques ($Cu^{2+}$). Ces cations favorisent aussi la formation de ponts entre les molécules de pectines. Cependant, il faut faire attention, car les sels de cuivre sont toxiques à forte dose. Il faut donc utiliser une bassine de cuivre bien propre et bien luisante et éviter la bassine noircie avec des traces vertes de vert de gris ($CuCO_3$, CuOOH).

On peut aussi, en l'absence de bassine de cuivre, utiliser une casserole en inox inattaquable par les acides et ajouter un sel de calcium ($CaCO_3$) où les ions $Ca^{2+}$ vont jouer le même rôle que les ions $Cu^{2+}$.

Si la confiture de framboise est bonne… sur une crêpe, c'est excellent !

Vous avez vu que l'on fait des crêpes en utilisant une poêle spéciale, une poêle téflon. On dit même « Tefal® » qui est devenu le nom d'une marque, abréviation de téflon et aluminium.

## La poêle Tefal®

Elle est revêtue sur le fond par un polymère fluoré le polytetrafluoroéthylène qui a été découvert par un chimiste américain, Roy Plunket, en 1938, alors qu'il travaillait dans une grande entreprise américaine, du Pont de Nemours.

Il a fait cette découverte un peu par hasard alors qu'il cherchait un nouveau fluide réfrigérant en faisant réagir du $CO_2$ et le tétrafluorure d'éthylène. Ce polymère est composé d'une longue chaîne de motifs ($C_2F_4$) (*Fig. 7*).

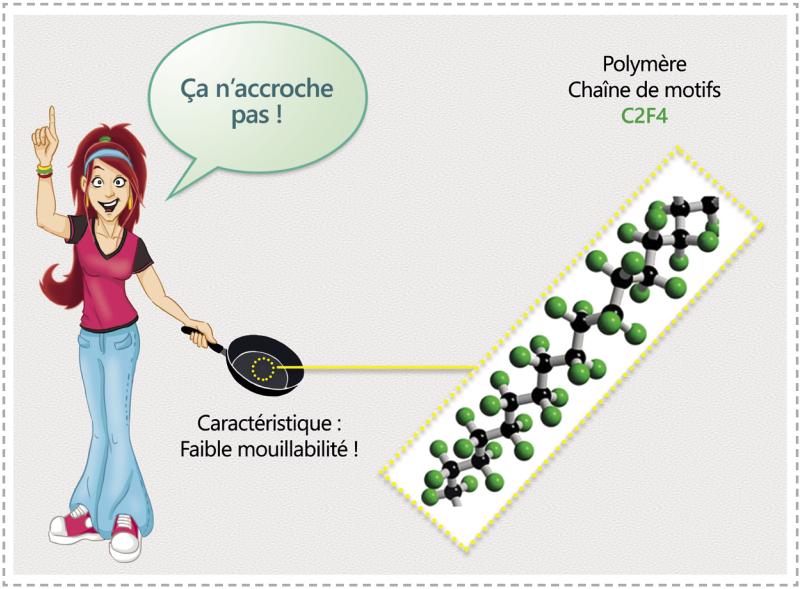



**Figure 7**

Les avantages de la poêle Tefal®.

Ce n'est qu'en 1951, que l'on a découvert que les couches de ces molécules avaient une réelle aptitude à ne pas être mouillées.

## La mouillabilité

La mouillabilité est l'aptitude d'une surface à être mouillée, c'est-à-dire qu'elle est entièrement recouverte d'un film liquide qui s'est étalé et non pas fragmenté en multiples gouttes.

On caractérise la mouillabilité et on la mesure par l'angle θ que fait la surface avec la paroi d'une goutte de liquide.

Si cet angle θ est inférieur à 90°, la surface est faiblement mouillée (*Fig. 8*).

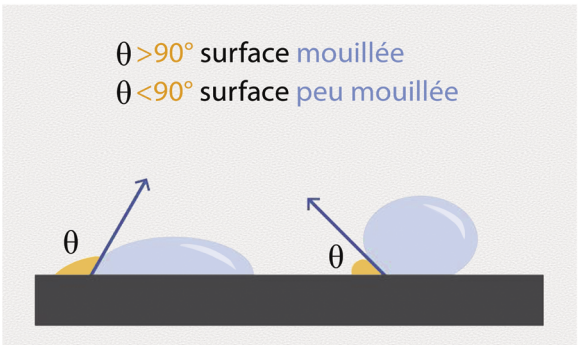



**Figure 8**

Mesure de la mouillabilité par l'angle θ.

Dans une poêle avec revêtement de téflon, le fond est faiblement mouillé, les aliments chauffés n'attachent pas et glissent sur la surface.

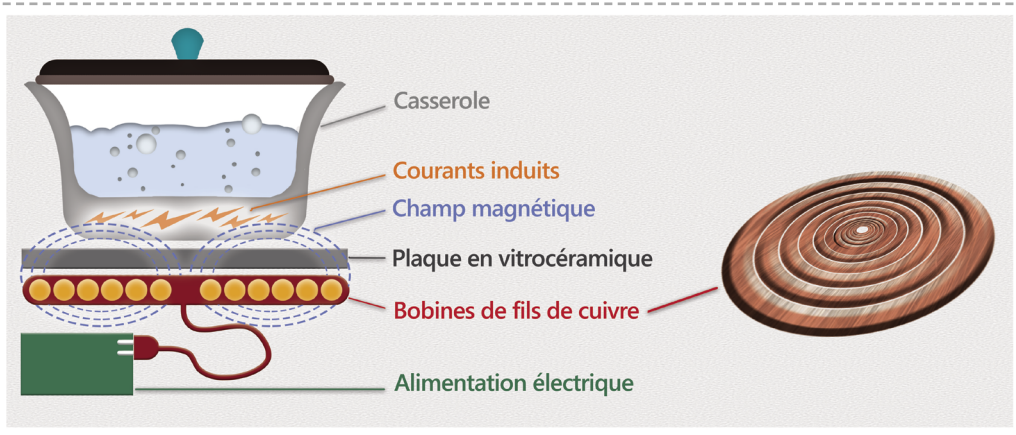
Vous voyez que l'on met la poêle sur une table de verre et non pas sur la flamme d'un réchaud, c'est encore de la chimie ?

## La plaque électrique

Il s'agit d'une plaque de chauffage en vitrocéramique avec un chauffage électrique par induction.

**Figure 9**

Principe de la plaque en vitrocéramique.




Sous la plaque, il y a une bobine en fils fin de cuivre alimentée par un courant alternatif de haute fréquence, de l'ordre de 25 kHz.

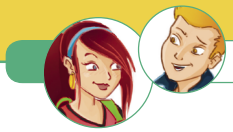
Quand on place, au-dessus de cette bobine, un objet conducteur électrique et magnétique, il est traversé par un champ magnétique qui va entraîner, dans le métal, des courants de Foucault qui se renversent et changent de sens 25 000 fois par seconde et qui chauffent cet objet par effet Joule.

Le grand avantage du chauffage par induction est que seul l'objet à chauffer monte en température.

***Les courants de Foucault :*** courants électriques circulant à l'intérieur des conducteurs soumis à des champs magnétiques variables.

### *Remarque*

Attention, on doit utiliser des poêles ou casseroles en métal conducteur et magnétique comme de l'acier ou de la fonte. L'aluminium ou le cuivre ne conviennent pas sauf si on place dans le fond, en sandwich, un disque d'acier en fer ou alliage Fe/Ni/Cr qui va absorber le champ magnétique produit par la bobine.



***L'effet Joule*** est une propriété de l'électricité très utilisée pour chauffer. Lorsqu'un courant électrique passe dans un fil conducteur, celui-ci s'échauffe. Cet échauffement est très différent selon la taille du fil et l'intensité du courant.

La plaque de cuisson ne va pratiquement pas chauffer sauf un peu sous le fond de la poêle ou de la casserole et c'est sans danger. En effet, la plaque est en verre spécial, composé de :

- silice $SiO_2$ ;
- alumine $Al_2O_3$ ;
- oxyde de Lithium $Li_2O$.

Plusieurs étapes sont nécessaires pour fabriquer la plaque :

1. on fond le verre à haute température au-delà de 1 200 °C ;

2. on ajoute un peu d'oxyde de titane $TiO_2$ qui va servir de germe de cristallisation avant le moulage ;

3. après refroidissement, on recuit la plaque à 780 °C pour cristalliser du spodumène de formule $Li_2OAl_2O3$, $nSiO_2$ qui a un très faible coefficient d'expansion de l'ordre de $1.10^{-6}$/K, donc pas fragile au choc thermique et avec une très bonne propriété mécanique.

## Conclusion

**Dans notre vie quotidienne, nous sommes environnés d'objets qui ont été créés par la chimie. Nous aurions pu citer encore les vêtements comme les pulls « polaires » qui sont en fibres de polyester obtenues par recyclage des bouteilles en polyéthylène (PET), les chemises en nylon, les baskets en polyamides.**
**Si je prends mon Smartphone :**
**– l'écran et la coque sont en plastique ;**
**– l'affichage en couleur est réalisé grâce à des microdiodes organiques (OLED) très lumineuses qui consomment peu de courant ;**
**– toute l'électronique à l'intérieur provient d'un semi-conducteur, le silicium. Il est transformé par dopage au phosphore ou au gallium en diodes ou mémoires électronique au nombre de plus du milliard par $cm^2$ qui permettent toutes les applications de connexion.**
**Mes cahiers qui sont en fibres de cellulose avec du carbonate de calcium comme charge pour rendre les pages bien blanches, mon stylo-bille en plastique avec une fine bille d'acier inoxydable et de l'encre organique avec des pigments microniques en noir de carbone.**
**Toutes ces applications ont répondu et répondent encore à des besoins exprimés par les populations, se loger, manger, bouger de la façon la plus saine et la plus facile.**

# EN VOITURE

Pour me déplacer, ne serait-ce que pour aller au collège, mon père me conduit en voiture, c'est une auto assez récente de couleur blanche. Là aussi, je suis entouré de chimie. Une automobile comporte une partie moteur qui fonctionne avec un carburant stocké dans un réservoir, un habitacle rigide dans lequel je peux m'asseoir avec ma famille, et quatre roues chaussées de pneus qui permettent à la voiture de rouler. Détaillons un peu la chimie qui intervient dans ces différentes parties.

## *Le moteur et son carburant*

### Le moteur

Le moteur d'une automobile est assez complexe. Il comporte :

- des parties mobiles :
  - pistons,
  - soupapes,
  - pompe,
  - turbo,
  - vilebrequin,
  - volant moteur ;
- des parties fixes :
  - radiateur,
  - bloc moteur.

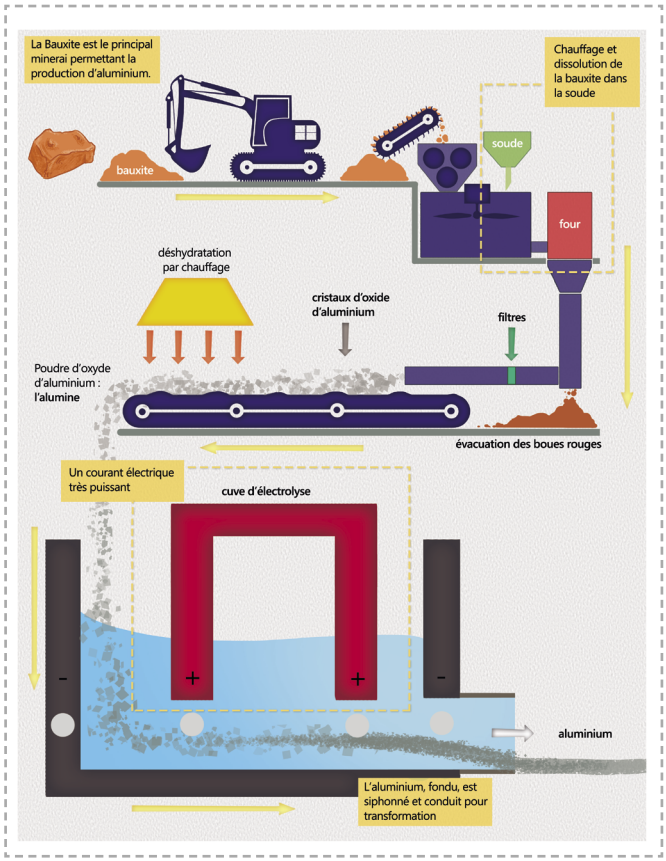
Toutes ces pièces sont en acier ou en aluminium. Pour alléger le poids, on remplace beaucoup d'éléments par de l'aluminium car sa densité (2,35) est bien inférieure à celle de l'acier (7,8).

### Le carburant

C'est grâce à l'essence ou au gas-oil que la voiture peut avancer. On brûle dans les cylindres du moteur, des hydrocarbures et on transforme l'énergie thermique obtenue en énergie mécanique qui fait tourner les roues.

## L'aluminium

L'aluminium a été découvert par un chimiste français, Henri Sainte-Claire Deville, en 1790.
Le procédé de fabrication à partir de la bauxite a été trouvé par deux chimistes, Paul Héroult en France et Charles Martin Hall aux États-Unis, en 1885.
Le procédé Bayer dissout la bauxite (AlOOH + $SiO_2$ + FeOOH) dans la soude concentrée pour former l'aluminate de sodium $Na_2Al_2O_4$ purifié des traces de fer et de silice.
À pH9, l'hydroxyde $Al(OH)_3$ précipite et par déshydratation, on obtient une poudre blanche l'alumine $Al_2O_3$.
Par le procédé Hall-Héroult, on dissout alors l'alumine dans la cryolithe $NaAlF_6$ à haute température et le bain est placé dans une cuve d'électrolyse en carbone à 960 °C, dans laquelle on fait passer un courant très fort de 100 kA sous 4,5 volts.




À la cathode, $Al^{3+}$ est réduit en Al métal qui coule au fond de la cuve puisque sa température de fusion est de 660 °C.
À l'anode, $O^{2-}$ est oxydé en oxygène $O_2$ qui réagit avec l'anode pour donner $CO_2$.
L'aluminium fondu est siphonné et conduit, après ajout d'éléments d'alliages, à la transformation en billots ou plaques à la fonderie.

**Figure 1**
Chaîne de production de l'aluminium.

Les carburants dans le réservoir ont comme formule générale $C_nH_{2n+2}$ et la réaction de combustion peut s'écrire :

$$C_8H_{18} + 12{,}5O_2 = 8CO_2 + 9H_2O + Q.$$

C'est la réaction stœchiométrique théorique ; mais dans un moteur, lors de la combustion, une production de gaz toxiques se dégage :

- le monoxyde de carbone CO ;
- des hydrocarbures imbrulés HC ou COV tels que $C_2H_6$ ;
- des oxydes d'azote NOx (NO, $N_2O$, $NO_2$) qui sont irritants ;
- et aussi dans les moteurs diésel, des petites particules PM de faibles diamètres (10 et 2,5 µm) très nocives pour les poumons.

Une réaction se produit dans des ***conditions stœchiométriques*** lorsque les quantités de réactifs sont dans les propositions identiques à celle de l'équation chimiques.

Pour éviter de polluer l'atmosphère, surtout en ville, les chimistes ont fait des prodiges et les dessous des automobiles sont devenus de véritables « usines à gaz » avec plusieurs réacteurs sur la ligne d'échappement.

## La carrosserie

Elle constitue l'habitacle. Sa construction est très étudiée du point de vue métallurgique, l'avant peut se déformer en cas de choc tout en préservant l'intégralité de la coque, cellule qui protège conducteur et passagers.

Elle est le plus souvent en tôle d'acier, le bas de caisse est revêtu d'une couche de zinc obtenu par électrodéposition pour éviter la corrosion.

Pour des voitures haut de gamme, elle peut être en aluminium car en gagnant 100 kg, on peut économiser 0,5 l d'essence aux 100 km.

Pour les voitures de compétition et les modèles de F1, on moule la carrosserie en composite de fibres de carbone d'une extrême légèreté mais c'est trop coûteux pour les voitures de tout le monde !

## La dépollution automobile

Pour bien respirer en ville et n'avoir plus en sortie de l'échappement que du gaz carbonique $CO_2$, de l'eau $H_2O$ et de l'azote $N_2$, il faut :

– oxyder le monoxyde de carbone et les hydrocarbures imbrulés :

$$2CO + O_2 = 2CO_2 \text{ et } C_2H_6 + 3{,}5O_2 = 2CO_2 + 3H_2O ;$$

– réduire les oxydes d'azote :

$$2NO + 2CO = N_2 + 2CO_2.$$

Plusieurs systèmes de dépollution sont mis en œuvre :

– l'EGR (*Exhaust Gaz Recirculation*) qui recycle une partie des gaz d'échappement pour avoir moins d'oxygène avec un catalyseur Pt/Pd sur alumine cériée ($Al_2O_3 + CeO_2$) ;

– le LNT (*Lean NOx Trap*) qui piège les oxydes d'azote avec des catalyseurs $Pt/Rh/Ba/Al_2O_3$ à une température de l'ordre de 350-400 °C ;

– le SCR (*Selective Catalytic Reaction*) qui consiste à injecter un réducteur dans le circuit, de l'urée $CO(NH_2)2$ qui réduit les NOx en azote $N_2$.

Pour être complet, citons le filtre à particules qui périodiquement doit pouvoir brûler les suies qui peuvent l'obturer.

Un catalyseur est souvent en métal précieux tel que le platine Pt ou palladium Pd qui sert d'intermédiaire pour faciliter une réaction.

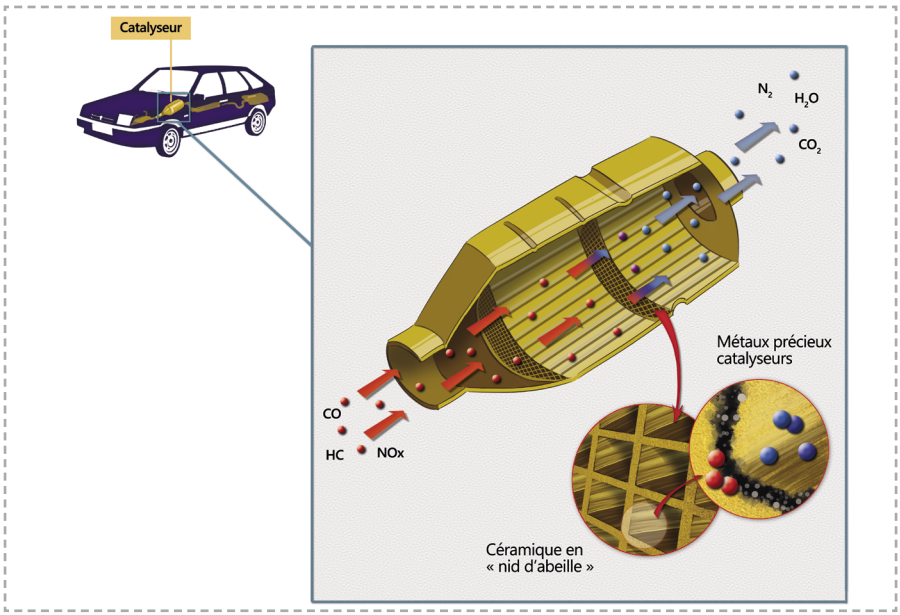



**Figure 2** Schéma d'un catalyseur.

## Les polymères

De plus en plus, les polymères plastiques gagnent du terrain dans l'automobile. Certaines parties de la carrosserie comme la partie arrière surmontant le coffre, les pare-chocs, le réservoir sont en résines et polymères.

### Qu'est-ce qu'un polymère ?

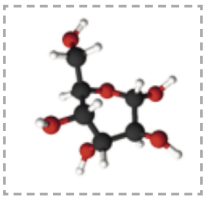


Figure 3

Structure moléculaire du glucose ($C_6H_{12}O_6$).

Un polymère est une macromolécule composée d'un motif élémentaire qui se répète un grand nombre de fois.
Exemple : la cellulose est un polymère synthétisé par les végétaux à partir du glucose.

Seule une petite partie de la fibre de cellulose est représentée ici car le nombre de molécules de glucose associées entre elles peut aller de quelques centaines à une dizaine de milliers selon son origine.

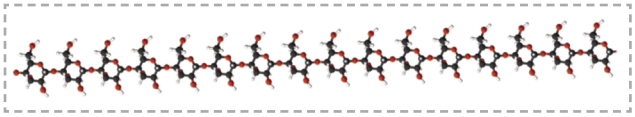


Figure 4

Chaîne moléculaire de la cellulose.

**Remarque**

À côté du polymère naturel, il y a de nombreux polymères synthétiques.

On retrouve les polymères dans les éléments suivants (*Fig. 5*) :

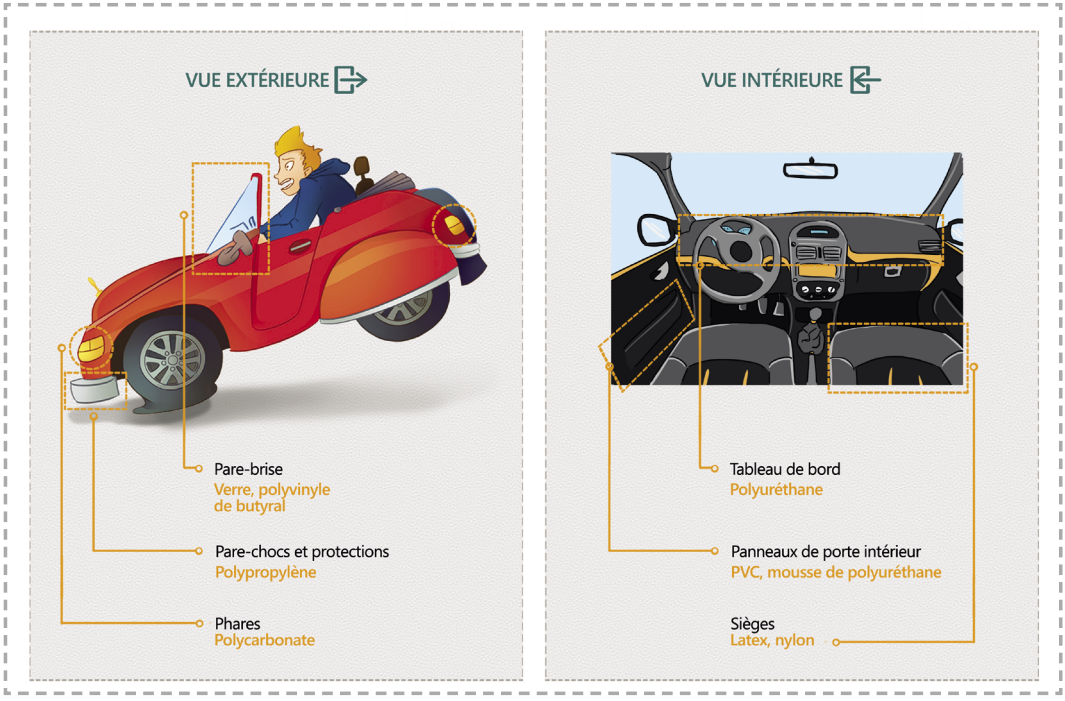
- la planche de bord est en polyuréthane ;
- les pare-chocs et protections en polypropylène ;

- certains engrenages et le couvercle de culasse parfois en polyamide ;
- les optiques en polycarbonate plutôt qu'en verre ;
- les panneaux de portes intérieurs en ABS avec du PVC et de la mousse de polyuréthane ;
- le pare-brise était en verre trempé pour se briser en une multitude de petits éclats non coupants en cas de collision. Maintenant il est en verre sécurit constitué de deux lames de verre trempé contrecollées en sandwich par un polymère le polyvinyle de butyral ;
- les sièges sont en latex recouverts de tissus synthétiques comme le nylon.

**Figure 5**

Les polymères présents un peu partout dans l'automobile.

Tous ces plastiques ont envahi nos automobiles car leur mise en forme facilite des fabrications de masse et leur légèreté permet d'économiser sur le poids du véhicule.



## Les pneus

Pour rouler en sécurité et dans un confort relatif, les roues sont chaussées de pneus.
Ce sont des enveloppes élastiques, constituées de caoutchouc naturel et synthétique et armées, sur leur flanc, de fils d'aciers pour les consolider.

Leur périmètre constitue la bande de roulement qui est creusée et sculptée de dessins très soigneusement étudiés pour éliminer l'eau en cas de pluie et pour procurer la meilleure tenue de route quel que soit le temps et le revêtement sur la route.

Les différentes étapes de l'histoire du pneu :

- vers 1840, découverte de la vulcanisation par Charles Goodyear (Encart « Le caoutchouc ») ;
- en 1888, J. B. Dunlop déposa, le premier, le brevet de fabrication des pneus ;
- en 1892, les frères A. et E. Michelin inventent le premier pneu démontable.

La fabrication d'un pneu est toute une chimie :

1. on mélange du caoutchouc naturel avec du butadiène et du styrène ;
2. on ajoute du soufre et de l'oxyde de zinc ;
3. on moule à environ 200 °C la forme circulaire du pneu sur un réseau circulaire de fils d'acier revêtus de cuivre ;
4. le soufre va constituer les attaches entre les chaînes des polymères et réagir avec le cuivre pour donner du $CuS_2$ qui va bien lier le caoutchouc à l'armature métallique (*Fig. 6*) ;
5. on peut y ajouter de la silice sous forme de billes très fines (de l'ordre de quelques microns) pour améliorer l'usure du pneu et consommer moins de carburant, on parle alors de « pneu vert ».

**Figure 6**

Le soufre constitue les attaches entre les chaînes des polymères.

## Le caoutchouc

Il y a cinq siècles, les Conquistadors découvrent, en Amérique du Sud, une substance au caractère sacré secrétée par certains arbres. Ils voient que les Amérindiens la moulent et après séchage à la fumée, s'en servent comme balle ou toiles enduites. Les jeux comme « le juego de pelota » sont les ancêtres de la pelote basque ou même du football. Cette substance, le latex, est un liquide laiteux qui coule d'une saignée dans l'écorce d'un arbre l'hévéa appelé « cahatchu » ou « arbre qui pleure ». Il ne sera identifié qu'au XVIII$^{e}$ siècle par des naturalistes et chimistes français et anglais qui l'importeront en Extrême-Orient.

Ce latex est composé de :

– deux tiers d'eau ;
– un tiers d'un solide blanc élastomère.

Les particularités de cet élastomère sont les suivantes :

– il peut s'allonger sous une forte traction ;
– séché, il devient élastique ;
– en dessous de 5 °C, il casse ;
– au-dessus de 35 °C, il se ramollit.

Avant d'en faire du caoutchouc il faut donc le transformer. Ce n'est qu'aux XIX$^{e}$ et XX$^{e}$ siècles que l'on comprit comment le traiter. C'est un polymère dont le motif $(-CH_2-CH = CH-CH_2-)n$ se répète sous forme de chaînes très longues. C'est Charles Goodyear, en 1842, qui trouva un peu par hasard la solution. Après avoir racheté à Hayward, le droit d'imprégner le latex avec du soufre, par maladresse il laisse tomber le mélange sur un four.

Après l'avoir détaché, il s'aperçoit que le produit ainsi traité garde son élasticité et sa forme quelle que soit la température. Il vient de trouver la vulcanisation et d'inventer le caoutchouc. C'est plus tard que les chimistes comprendront que les ions soufre font des liaisons disulfures C-S-S-C entre les chaînes $(-CH_2-CH = CH-CH_2-)n$ et donnent au latex une structure tridimensionnelle stable en lui gardant ses propriétés élastiques.

Du point de vue industriel, on ajoute au soufre :

– un activateur ZnO ;
– des catalyseurs ;
– de l'acide stéarique ;
– des charges comme du noir de carbone ou de la silice ultrafine pour améliorer ses caractéristiques.

Actuellement, la consommation mondiale de caoutchouc est de l'ordre de 22 millions de tonnes dont neuf de caoutchouc naturel et presque 70 % est consacré à la fabrication des pneus.

Le caoutchouc synthétique est apparu en 1910 en Allemagne et en 1941 aux États-Unis dans le cadre des « économies de guerre » où les États n'avaient plus accès aux ressources des plantations d'hévéas en Extrême-Orient.

À partir du charbon et du pétrole en passant par l'éthylène, on fabrique le 2,3-diméthylbuta-1,3-diène qui par polymérisation donne le butadiène ou l'isopropène.

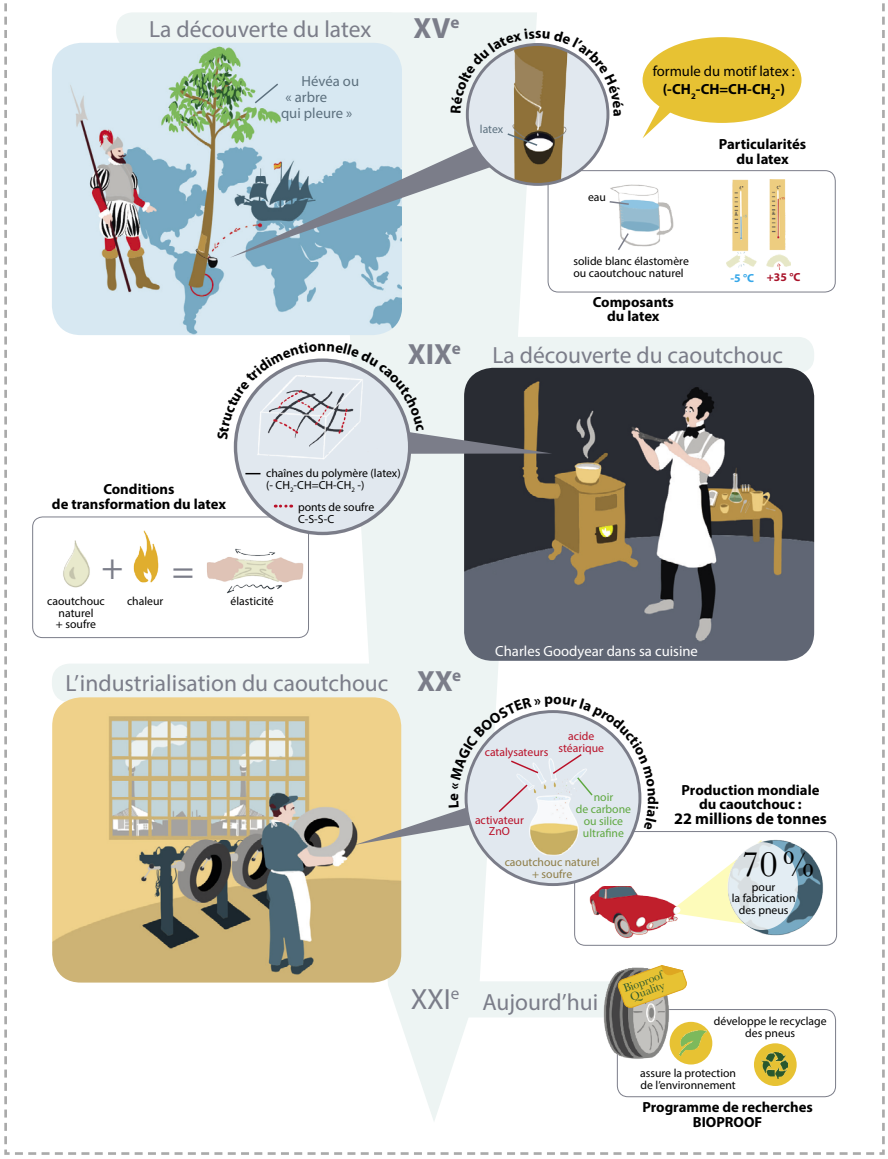



**Figure 7**

L'histoire du caoutchouc.

## Conclusion

**Notre voiture est devenue indispensable dans notre quotidien. En l'utilisant tous les jours, on ne se rend plus compte qu'elle sous-tend la chimie et des inventions de chimistes.**

**Actuellement, l'innovation en chimie permet d'économiser l'énergie en diminuant les émissions de gaz à effet de serre et en économisant les ressources non renouvelables de notre planète.**

**L'exploitation de la biomasse renouvelable, la purification de l'eau, les véhicules électriques, l'expédition vers Mars, tous ces développements seraient impossibles sans la chimie.**

2 PARTIE

# LE BIEN-ÊTRE

# LES APORTS DANS L'ALIMENTATION

« *Fais de sorte que ton aliment soit ton médicament* »

Hippocrate 380 a. J.

L'homme est extraordinairement complexe, doté d'un métabolisme très élaboré, aux multiples transformations chimiques qui font appel à de nombreuses molécules de structures variées : protéines, acides nucléiques, sucres, lipides, médiateurs chimiques…

Optimiser le métabolisme, et donc être en bonne santé, relève d'un équilibre soigneux et plus particulièrement alimentaire.

De fait, les apports alimentaires sont les garants de la production d'énergie pour bâtir, grandir, communiquer, voir, marcher, penser, respirer, jouer… bref exister !

## *L'homme et son métabolisme : une usine chimique*

***Métabolisme :*** ensemble des transformations biochimiques qui se produisent au sein de la cellule ou de l'organisme.

### Le métabolisme humain : deux processus, l'anabolisme et le catabolisme

Le métabolisme est le résultat de deux processus : l'anabolisme et le catabolisme.

Au cours de l'anabolisme, l'organisme va, à partir de substances plus au moins simples ingérées par l'alimentation, construire des structures

plus complexes utiles pour son existence alors que pendant le catabolisme, il va dégrader ou modifier les structures complexes en des molécules parfois plus simples, recyclables et profitables à son équilibre ou alors éliminables dans les urines ou les fèces.

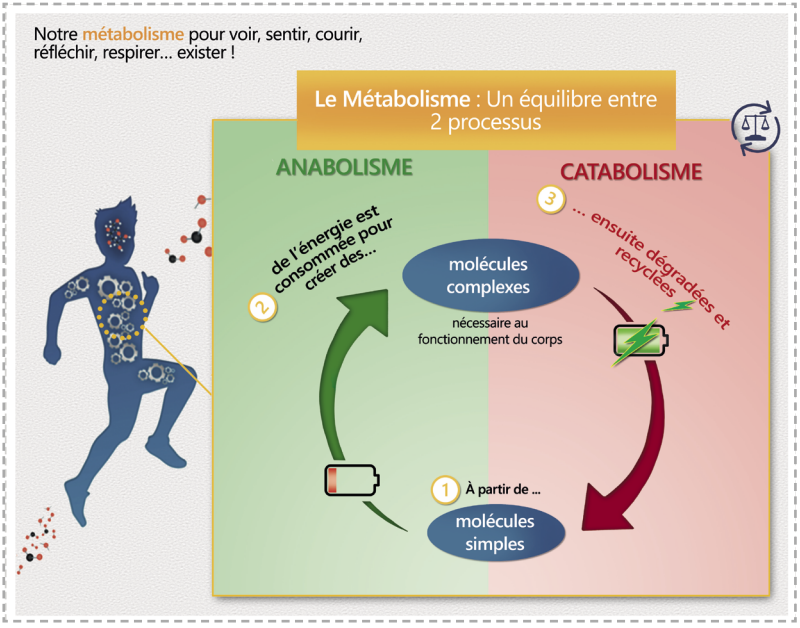



**Figure 1**

Le métabolisme humain.

***Anabolisme :*** (« ana » en grec « vers le haut »). Ensemble des réactions qui assimilent les matières nutritives afin de produire de l'énergie, construire et renouveler les tissus vivants, promouvoir la communication…

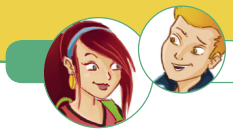
***Catabolisme :*** (« cata » en grec « vers le bas ». Phase au cours de laquelle les aliments assimilés sont transformés, éliminés ou recycler

## *Le métabolisme du cholestérol*

Il s'agit d'une molécule sophistiquée qui joue le rôle des briques de construction des parois de nos cellules en veillant sur leur perméabilité et leur souplesse.

Elle est synthétisée au niveau du foie à partir de l'acétate (communément le vinaigre) avec deux atomes de carbone, pour aboutir après 12 étapes de synthèse au cholestérol muni de 30 atomes de carbone ! Il s'agit de l'**anabolisme**.

Sa dégradation fait intervenir d'autres étapes chimiques, toujours au niveau du foie, pour produire des acides biliaires éliminables *via* la bile ou utilisables par recyclage pour la digestion. Il s'agit du **catabolisme**.



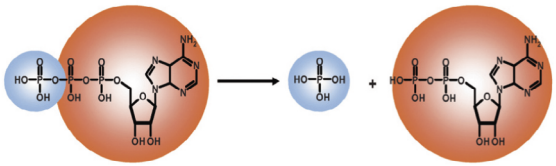
# Énergie : stockage et production

## Les réactions endothermiques et exothermiques

Pour assurer l'ensemble des fonctions vitales (maintien de la température interne à 37° C, la respiration, la digestion, l'activité des organes comme le cerveau et le cœur…), l'organisme humain consomme de l'énergie et pour la produire, plusieurs éléments sont indispensables : les glucides (glucose) et les lipides (gras) sont la source énergétique de choix.

En chimie comme dans la chimie du vivant (bio-chimie), il existe des réactions dites endothermiques, et des réactions dites exothermiques. Dans le premier cas, la réaction de transformations pour avoir lieu exige de l'énergie (endo = à l'intérieur), alors que dans le second cas, la réaction dégage de l'énergie (exo = à l'extérieur). Cette énergie le plus souvent est exprimée sous forme de chaleur ce qui explique le terme utilisé de « thermique » (thermico = chaud en grecque).
Les êtres vivants tirent leur énergie en utilisant d'abord des réactions exothermiques qui consistent à oxyder des nutriments comme les sucres et les acides gras.
Ceci est aussi vrai pour les plantes chlorophylliennes qui utilisent l'énergie des photons (Soleil) pour fabriquer, à partir de dioxyde de carbone, de la matière organique (sucres) qui pourra par la suite être oxydée.
Cependant, l'énergie dégagée par cette oxydation (par exemple, l'oxydation d'un gramme de glucides, « sucres », rapporte environ 4 kcals) n'est pas directement utilisée par les cellules.
En effet, il existe un relais moléculaire qui en jouant le rôle d'une pile ou batterie va accumuler l'ensemble de cette énergie dans sa structure chimique. Il s'agit de l'ATP (Adénosine TriPhosphate).

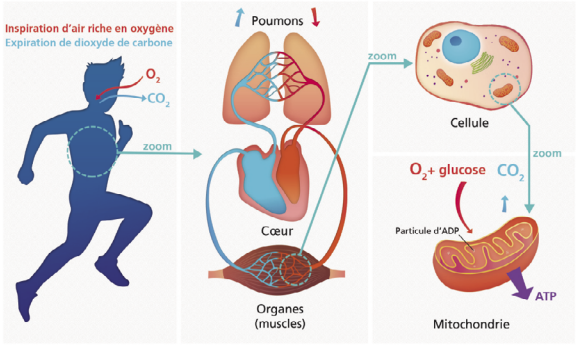
Dessin de la molécule D'ATP



ATP Pi + ADP

## Comment cela fonctionne ?

Nous nous procurons cette énergie en respirant et en mangeant. Quand nous inspirons, l'oxygène de l'air est transporté par les globulesrouges de notre sang, de nos poumons vers les milliards de cellules de notre corps et plus spécialement vers les ***mitochondries*** qui sont les « paumons » de nos cellules (*Figure ci-dessous*)



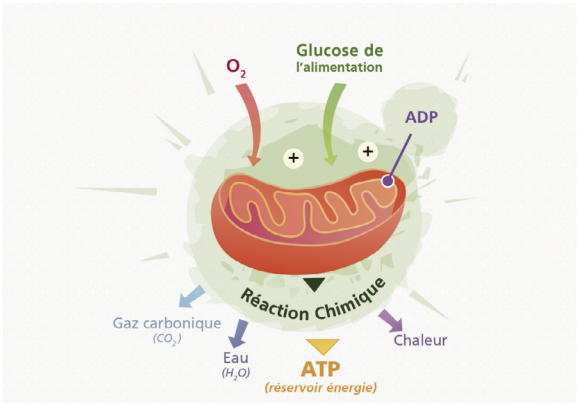




**Figure 2**

L'utilisation de l'énergie dans le fonctionnement des organes vitaux ou autres.

## L'ATP dans le stockage et le transport de l'énergie

Il s'agit d'une molécule (*Fig. 2*) formée d'un sucre à cinq atomes de carbone, le désoxyribose, d'une base azotée, l'adénine, et d'une chaîne à trois acides phosphoriques.
La rupture de la liaison phosphodiester de l'ATP (voir *Fig. 2*) va alors procurer au moment demandé l'énergie nécessaire pour que les réactions métaboliques endothermiques puissent avoir lieu.
Le système de conversion est suffisamment intelligent, pour que le processus du transfert de l'énergie se passe sans déperdition de chaleur ; les molécules partenaires commencent d'abord à se « coller » l'une à l'autre.
Ainsi l'énergie dégagée se propage « de corps à corps ».
Le stock de l'ATP n'est pas élevé ; par conséquent, l'organisme doit être prêt à en fabriquer rapidement au fur et à mesure de la demande.

Voici un calcul, certes approximatif, qui donne un ordre d'idée numérique des événements énergétiques nécessaires à la vie d'un être humain.
La consommation énergétique moyenne d'un individu est environ de 2000 kcal/24 h. Cette énergie contenue pour l'essentiel dans les glucides/lipides doit, après oxydation, servir à fabriquer de l'ATP. Le rendement de la conversion énergétique est d'environ 50 %, l'autre moitié sert à dégager de la chaleur pour le maintien de la température corporelle, il ne faut donc compter que sur 1000 kcal stockés sous forme d'ATP pour les besoins métaboliques.

### *Remarque*

1000 kcal représentent l'équivalent de 1,2 kW d'une lampe LED (sans déperdition de chaleur).
Les 1000 kcal fournis aux cellules correspondent à l'hydrolyse d'environ 45 kg d'ATP.
Le stock en ATP étant de 50 g, il faut que l'organisme répète cette opération 450 fois/jour, soit une fois toutes les trois minutes !

# Les protéines

Les protéines sont l'ultime solution pour la production d'énergie nécessaire aux besoins quotidiens. En période de jeûne, lorsque le glucose est épuisé, l'organisme va transférer les acides aminés résultant de la coupure des protéines des muscles vers le foie.

Le foie va alors procéder à la synthèse du glucose *via* la voie synthétique dite de néoglucogenèse, et le distribuer vers les cellules en commençant par les globules rouges dites gluco-dépendants car incapables de synthétiser du glucose par eux-mêmes.

Si ce processus était habituel, une « fonte » rapide du tissu musculaire en serait la conséquence visible.

## La structure des protéines : les acides aminés

Les protéines sont constituées par un enchaînement de centaines, voire de plusieurs centaines d'acides aminés. Le code génétique humain compte vingt acides aminés (voir *figure 5* ci-dessous) ; certains peuvent être synthétisés par les cellules et d'autres, dits acides aminés essentiels, sont apportés par l'alimentation.

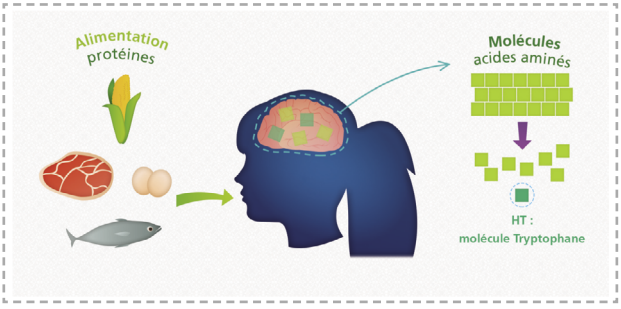



**Figure 4**

Les acides aminés essentiels fournis par l'alimentation.

Exemple : le tryptophane, la phénylalanine et l'histidine sont synthétisés par les plantes et les microorganismes.

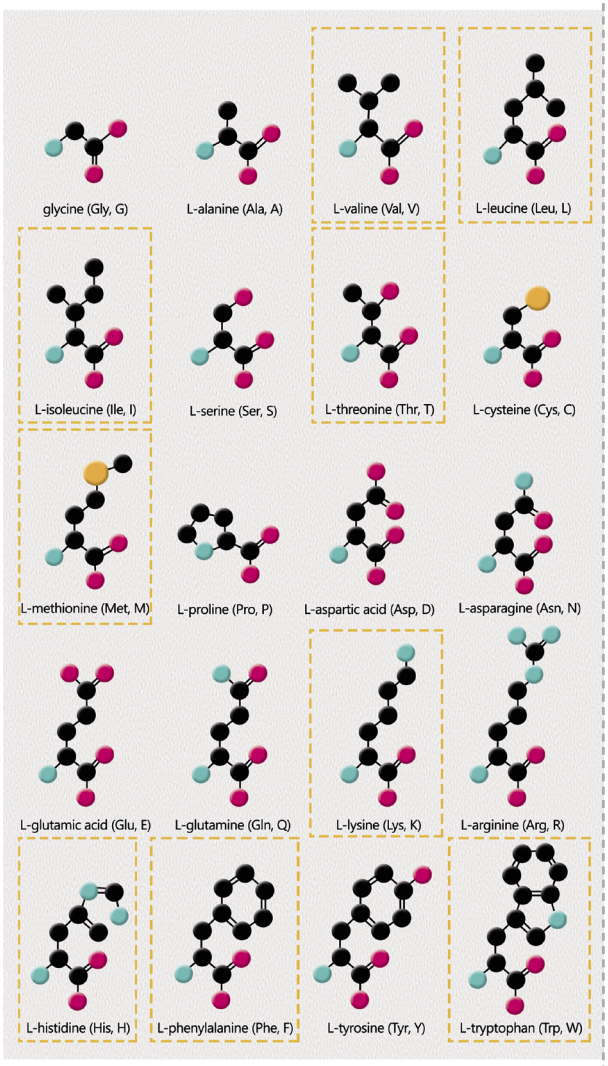



**Figure 5**

Les 20 acides aminés du code génétique humain.

Si la contribution directe des protéines à la génération d'énergie est inferieure à 10 %, leur contribution indirecte est décisive pour un métabolisme optimal.

Ainsi, au-delà des protéines de structure et de constitution des tissus (collagène, peau, kératine, cheveux et ongles…), nous trouvons toutes les protéines à activité biologique.

## Protéines à activité biologique

### Les enzymes

Il s'agit des protéines dotées de propriétés catalytiques, c'est-à-dire à des quantités infimes et non-stœchiométriques, sont capables de se complexer avec les réactifs (A et B) d'une réaction, d'abaisser l'énergie nécessaire à leur activation, et ainsi accélérer leur conversion en de nouveaux produits (C et D).

$$A + B + \text{Enzyme} \longrightarrow C + D + \text{Enzyme}$$

On estime que plus de 5 000 réactions différentes dans nos cellules ont besoin des enzymes qui assurent des opérations complexes comme celles de copier le matériel génétique (ADN), de décomposer les produits alimentaires (protéinases, galactosidases lipases… responsables du métabolisme des protéines, des glucides et des lipides), de fabriquer des molécules simples ou compliquées comme l'exemple du cholestérol que nous avons vu précédemment.

### Les hormones

Ce sont des substances chimiques, le plus souvent de nature protéique, synthétisées par les glandes et secrétées dans le sang. Pendant leur circulation, elles interagissent avec des récepteurs des cellules pour transmettre un message chimique.

Elles assurent une mission de communication qui au contraire de celle assurée par les cellules nerveuses, est lente, continue et diffuse. Elle régule l'activité de plusieurs organes et modifient leur comportement. Il existe de nombreuses hormones qui agissent entre autres sur la croissance, la sexualité, la maternité, les humeurs…

Un exemple à l'origine de pathologies graves (hypo et hyper-glycémie) de diagnostic vital compromettant est l'insuline.

### *L'insuline*

Elle est secrétée par le pancréas et a un effet déterminant sur le métabolisme des glucides, lipides et protéines en favorisant l'absorption du glucose présent dans le sang par les cellules adipeuses, les cellules du foie, comme celles des muscles squelettiques.
Ainsi la libération du glucose par le foie dans le sang est très fortement limitée par le taux sanguin élevé en insuline.

## Les protéines de transport

Ce sont des molécules « cargos », responsables du trafic des micro- ou macromolécules, à l'intérieur de la cellule comme entre les cellules. Elles sont indispensables pour notre édifice organique comme pour notre fonctionnement.
Reprenons l'exemple du cholestérol, tellement indispensable à l'édifice cellulaire.
Le cholestérol ne sait pas circuler dans l'eau, en effet, cette molécule a peur de l'eau et aussitôt précipite sous forme solide ; il s'agit d'une molécule dite hydrophobe.

***Hydrophobe :*** qui évite l'eau.

Comme le milieu de notre sang est aqueux, il a fallu que l'organisme fabrique des molécules « cargos » spécifiques pour que le cholestérol puisse voyager à travers nos artères et veines et atteindre l'ensemble de nos organes et tissus. Il s'agit des protéines LDL et HDL (*Low/High Density Lipoproteines*).
Les LDL transportent le cholestérol du foie (usine de production et du stockage) vers les organes demandeurs à travers la circulation sanguine. Les HDL se chargent du rapatriement vers le foie de tout excès au niveau de la circulation. Ainsi, un équilibre s'installe entre l'offre et la demande, on parle de l'homéostasie.
D'autres exemples de protéines de transport ne manquent pas ; citons l'hémoglobine, protéine chargée, grâce au fer qu'elle porte en son sein, de véhiculer l'oxygène à l'ensemble de notre corps. L'oxygène libéré va servir de carburant de première intention pour les glucides et lipides, source d'énergie pour toutes nos cellules.
Il existe de nombreuses autres protéines à activité biologique que nous ne décrirons pas dans ce chapitre.

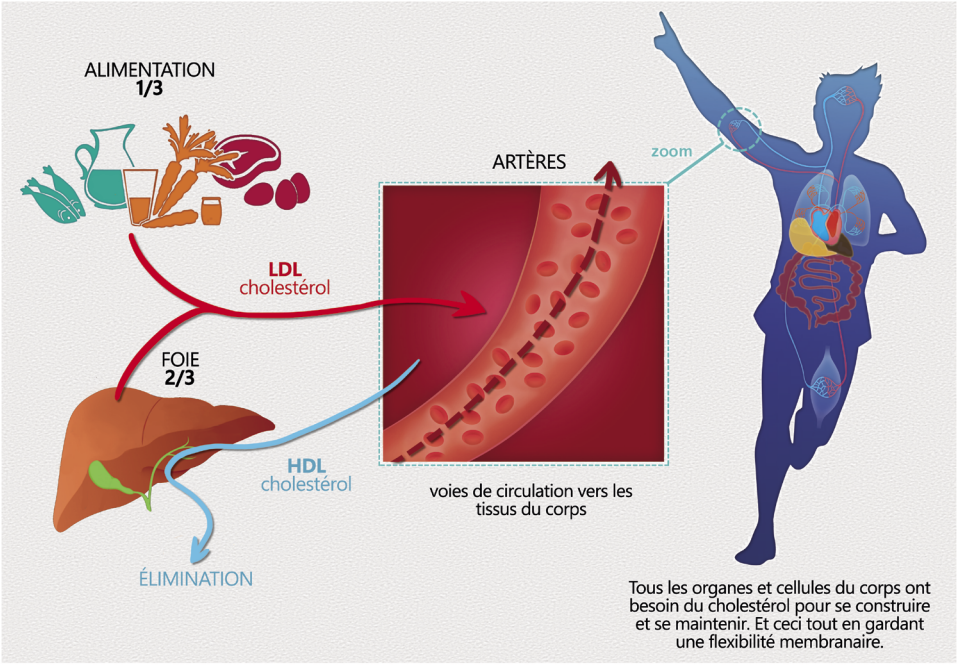



**Figure 6**

Les protéines de transport du cholestérol.

À titre d'exemple, n'oublions pas les protéines contractiles des muscles (myosine et actine), les protéines de réserve, les protéines impliquées dans notre défense telles que les immunoglobulines…

# Les vitamines

Il s'agit de substances organiques, compléments alimentaires indispensables et nécessaires à faible quantité, au métabolisme d'un être vivant. Sauf pour de rares exceptions, par exemple la vitamine D, elles sont pour l'essentiel amenées par l'alimentation et ne sont pas synthétisées par l'organisme.

Elles sont classées suivant leur solubilité dans les graisses (liposolubles) ou dans l'eau (hydrosoluble), à savoir :

- vitamines liposolubles : A, E, D et K, elles sont fournies par les substances lipidiques (huile des poissons, beurre…) ;
- vitamines hydrosolubles : B1, 2 … B12, C…, elles sont procurées pour l'essentiel par les fruits, les légumes, les céréales complètes…

Elles peuvent aussi être classées suivant leur mécanisme d'action :

- par leur action au niveau nucléaire (noyaux des cellules). Elles modifient la transcription du message génétique (ADN) en acides nucléiques messagers (ARN), et en conséquence le contenu en protéines. Exemple : vitamine A et D ;
- par leur action d'antioxydant en inactivant les radicaux libres, « la rouille du vivant », soit au niveau membranaire (vitamine E) soit au niveau circulant (vitamine C) ;
- par leur active participation au niveau métabolique, en particulier des acides aminés par le transfert des groupements chimiques tels que : le dioxyde de carbone ($CO_2$), le méthyle ($CH_3$) ou l'amine ($NH_2$), (vitamines du groupe B en général) ;
- par leur intervention au niveau du processus oxydatif par un transfert d'électrons efficace. On trouve le NAD (Nicotinamide-Adénine-Di nucléotide), l'acide ascorbique (vitamine C), la riboflavine (vitamine B2) et la vitamine K.

### *La vitamine C*

Elle joue un rôle important dans les fonctions hormonales surrénaliennes et sexuelles, dans le métabolisme du fer en favorisant son absorption intestinale, le métabolisme des glucides, lipides et protéines. Enfin, elle favorise la biosynthèse du collagène qui intervient dans la tonicité de la peau.
Elle agit de plus sur :

– le métabolisme cérébral et musculaire ;
– les mécanismes d'ossification et de défenses immunitaires ;
– les mécanismes de défense contre l'oxydation par des radicaux libres.

### *La vitamine D*

Elle est liposoluble et se trouve dans l'alimentation (la légende de l'huile de foie de morue) et est aussi synthétisée par l'organisme à partir de l'ergostérol, un dérivé du cholestérol.
Sa synthèse ne peut avoir lieu que grâce à l'action des UVB (rayonnement du Soleil), c'est pourquoi il est important d'exposer raisonnablement les enfants à la lumière du jour.
Elle va jouer un rôle primordial dans le processus d'ossification (minéralisation osseuse) du squelette, des articulations, comme dans la tonicité musculaire.

**Figure 7**

Les différentes vitamines.

# Les oligoéléments

Les oligoéléments (les éléments en petites quantité, du grec oligo = peu), opposés aux macroéléments comme le calcium que l'on trouve dans l'organisme en quantités importantes, vont, pour l'essentiel, jouer un rôle primordial dans différentes fonctions de l'organisme, à savoir :

- la respiration et l'oxygénation des muscles ;
- l'apport en énergie indirect en synergie avec des enzymes du métabolisme humain ;
- la résistance contre les infections, le vieillissement cellulaire ;
- la régulation hormonale…

### Quelques oligoéléments

L'iode : régulateur des hormones thyroïdiennes, il joue un rôle fondamental dans la stabilité pondérale.
Le fer : constituant de l'hémoglobine, fixateur de l'oxygène, joue le rôle primordial dans son transport vers tous les tissus afin d'assurer leur métabolisme et survie.
Le sélénium : indispensable pour le bon fonctionnement cérébral et l'équilibre psychique et par son action d'antioxydant, il protège le système cardiovasculaire.
Le magnésium : élément indispensable pour de nombreuses enzymes catalysant des réactions métaboliques.
Il a un rôle dans la régulation du système nerveux, psychique et émotionnel. Il est essentiel pour la décontraction des muscles et prévient les troubles du sommeil. En combinaison avec le lithium, il joue un rôle d'antistress.

# Le cheminement des nutriments

Tout débute à la libération du nutriment de sa matrice alimentaire dans notre bouche ; c'est l'étape de la mastication qui va contribuer à la sensation du goût comme à certaines autres transformations au contact de la salive qui va grâce à certaines enzymes (par exemple les amylases) pré-digérer diverses substances telles que l'amidon en ses substances constitutives comme le glucose.
Après déglutition, le nutriment passe *via* l'œsophage à l'estomac où prend place un métabolisme important avec un premier brassage mécanique suivi d'un traitement chimique dû à la sécrétion des sucs gastriques (eau, acide chlorhydrique et enzymes comme la pepsine).
Arrivé au duodénum, il subira un autre traitement par les excrétions biliaires (surtout pour les substances liposolubles) puis atteindra l'intestin grêle, lieu d'absorption de tout nutriment, qui après de nombreuses transformations, va « suivant sa carte d'identité » franchir la barrière, atteindre le foie qui va procéder à un dernier nettoyage avant de permettre aux différentes substances d'être transportées vers le système circulatoire et ainsi distribuées à l'ensemble des tissus.

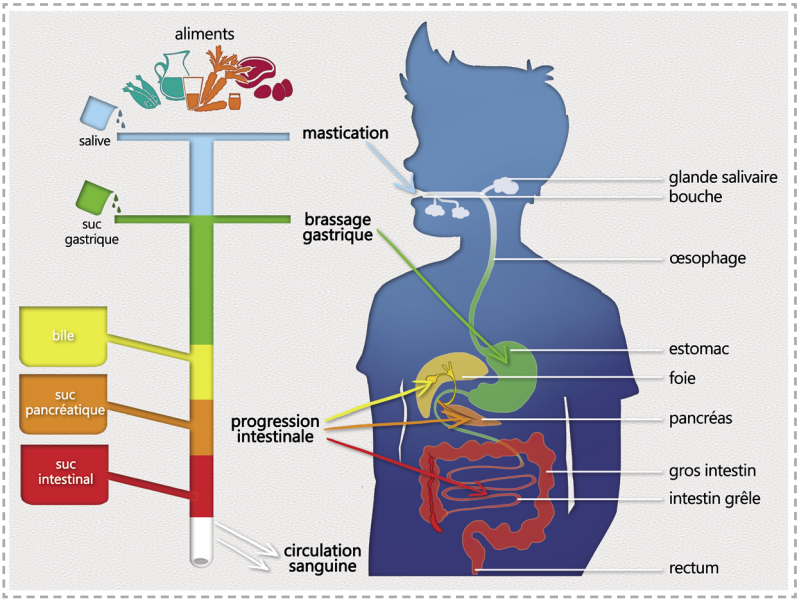



**Figure 8**

Le processus de la digestion.

## Conclusion

**Le consommateur attend d'un aliment des propriétés sensorielles, nutritives, sanitaires et écologiques contrôlées et maîtrisées.**
**Ceci exige une bonne connaissance de tous les paramètres qui gouvernent la construction de l'aliment, sa transformation dans l'organisme et les conséquences sur toutes ses propriétés.**
**Les progrès réalisés ont été notables dans toutes les étapes de cet ensemble complexe.**
**La chimie dans toutes ces approches joue un rôle majeur en interaction constante avec la biologie, la physique, la médecine, le génie des procédés, la biotechnologie…**
**La chimie n'est pas en opposition au naturel, une molécule chimique de formule déterminée est la même qu'elle soit naturelle ou de synthèse. L'additif E300 n'est autre que la vitamine C, présente dans de nombreux fruits.**
**Ainsi, les enjeux économiques et sociétaux laissent de nombreux défis à relever aux scientifiques. Les progrès réalisés en culture hydroponique (eau recyclable et sans terre) sont déjà très significatifs et laissent entrevoir des cultures riches sur les terrasses des immeubles en ville.**
**La biologie de synthèse qui consiste à diriger des microorganismes (bactéries, levures, microalgues…) afin de fabriquer puis produire des substances d'intérêt a déjà fait ses preuves dans un domaine tel que la santé (production des pénicillines, de l'insuline…) et est en plein essor pour impacter dans l'avenir le domaine de la production des matrices alimentaires.**

# AU SERVICE DE LA SANTÉ

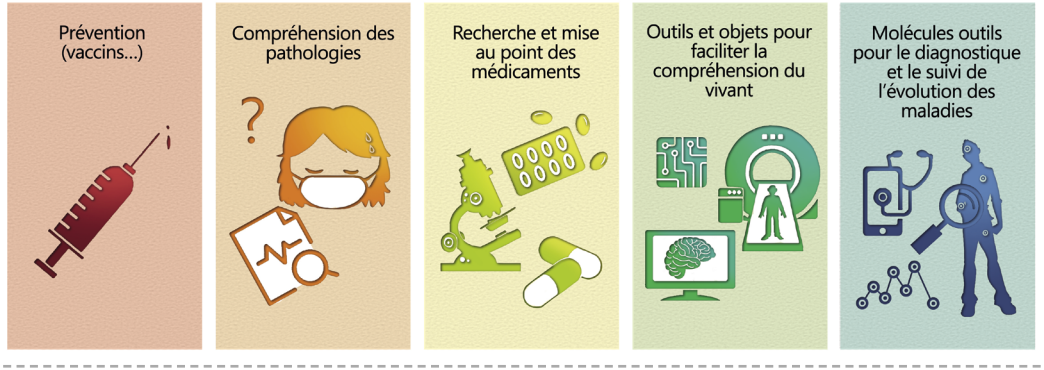
Nous parlons en général beaucoup plus des risques de la chimie pour l'Homme que de ses bienfaits.
D'un point de vue socioculturel, il n'est pas rare d'entendre vanter les bienfaits du paracétamol, des anti-inflammatoires et des antihypertenseurs mais dès que l'on aborde le cas d'une personne bénéficiant d'une chimiothérapie, le discours devient plus méfiant face à ce traitement. Cependant, il est important de rappeler que tous les traitements médicamenteux appartiennent à la chimiothérapie.

## *Quels sont les principaux champs d'application de la chimie dans la santé ?*

**Figure 1**

Domaines d'application de la chimie dans la santé.

La chimie intervient dans plusieurs domaines de la santé, elle va bien au-delà du médicament. On la retrouve dans les différentes sphères suivantes.



## Compréhension des pathologies

La chimie intervient dans la compréhension des maladies et des mécanismes moléculaires qui conduisent à une pathologie donnée ; par exemple dans le cas du diabète, de l'hypertension, la maladie de Parkinson, la dépression, le cancer…

***Pathologie :*** (du grec *pathos* = souffrance et *logie* = étude rationnelle), étude des maladies, de leurs origines, de leurs symptômes, etc.

## Recherche et mise au point des médicaments

La thérapeutique par la recherche et la mise au point des médicaments ou solutions (médicament + dispositifs médicaux) sont susceptibles de soulager les souffrances, de corriger des voies physiologiques « égarées » (c'est-à-dire qu'elles ne fonctionnent pas comme avant), de retarder l'apparition de nouveaux symptômes plus graves et améliorer le quotidien des patients.

## Outils et objets pour faciliter la compréhension du vivant

Il s'agit de nouveaux outils et objets (molécules, matériaux…) qui permettent ou facilitent la compréhension du vivant, comme en corriger certains dysfonctionnements : par exemple puces à ADN, de nouvelles techniques d'imagerie (pour la compréhension et le suivi), des biomatériaux comme les implants, les prothèses, les cœurs artificiels…(pour corriger des dysfonctionnements fonctionnels comme structuraux).

## Outils de diagnostic et de suivi de l'évolution des maladies

Il s'agit des outils moléculaires de diagnostic et de suivi de l'évolution d'une maladie ou de l'impact d'un traitement ; par exemple, suivi du taux du cholestérol ou du sucre dans le sang (prévention des maladies cardiovasculaires, des atteintes rénales…), suivi de marqueurs des différents cancers avec comme exemple phare, le cancer de la prostate…

# Apport à la compréhension du vivant et de mécanismes physiopathologiques

## Dans la famille des « ...omes », génome, protéome, métabolome...

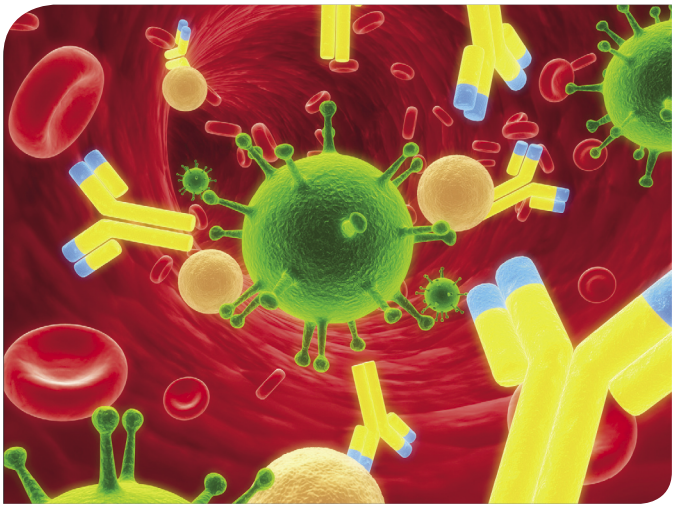
Le domaine de la chimie du vivant est un domaine extrêmement évolutif, surtout ces vingt dernières années, appuyé sur la révolution en chimie analytique, la capacité d'analyse de millions de données simultanément grâce à l'informatique, les progrès spectaculaires en biotechnologie et la chimie du matériel génétique comme protéique.

On parle du génome pour la génétique, du protéome pour les protéines, du métabolome pour les différentes petites molécules médiateurs.

De fait, tout organisme vivant est le siège d'un fourmillement de réactions chimiques dont les acteurs sont les enzymes, comme des millions d'autres molécules (le métabolome) telles que les sucres, les lipides ou les médiateurs chimiques qui jouent un rôle clé dans le fonctionnement de l'organisme.

**Figure 2**

Des millions de molécules sont à la base du fonctionnement de notre organisme.
Source : CNRS Photothèque.



Le début du XXIe siècle est marqué par l'essor des disciplines nouvelles comme la génomique qui marque un tournant révolutionnaire dans la recherche des scientifiques pour comprendre comment fonctionne l'être vivant.

Un travail titanesque est toujours en cours pour découvrir quels gènes commandent quelles fonctions physiologiques de l'organisme.

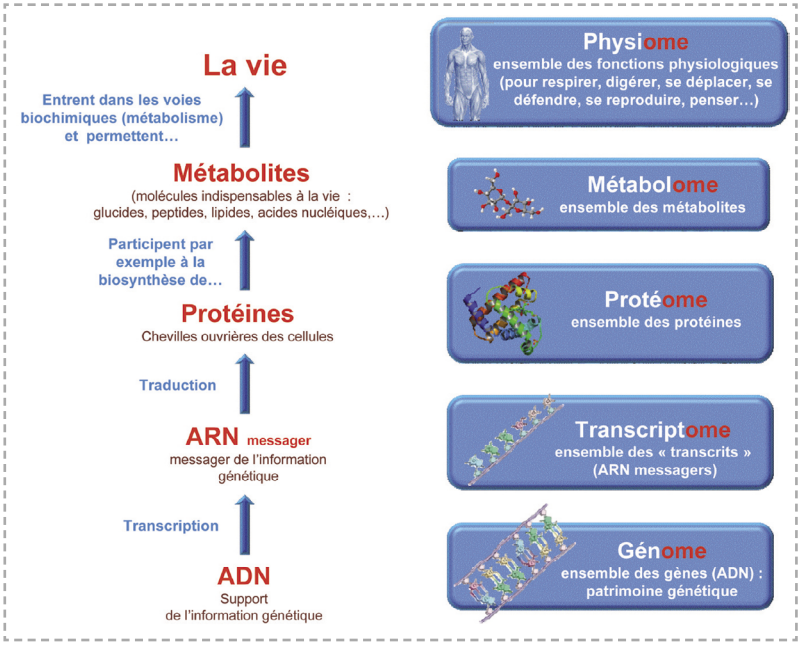



**Figure 3**

Du gène à la fonction physiologique : la génomique fonctionnelle.
Dans les cellules vivantes, les gènes sont transcrits en ARN messagers, qui sont traduits en protéines, lesquelles participent par exemple à la biosynthèse de métabolites, qui assurent le fonctionnement de notre organisme. Chacune de nos milliers de milliards de cellules renferme quelques 25 000 gènes (ou fragments d'ADN), qui forment le génome. Les ARN messagers (de l'ordre de 45 000) constituent le transcriptome. Le protéome est encore plus fourni, car il regroupe de très nombreuses protéines (enzymes, récepteurs, anticorps, hormones, etc.).

## Un exemple d'un médiateur récemment découvert : l'oxyde nitrique (NO)

Cette petite molécule composée simplement d'un atome d'azote et un d'oxygène, longtemps considérée comme un polluant et un gaz toxique à l'image du monoxyde de carbone s'est avérée posséder des propriétés physiologiques capitales.
En effet, il agit au niveau du système cardiovasculaire par des effets vasodilatateurs (antihypertenseur) et antithrombotiques.
Il joue un rôle dans le système nerveux central et en particulier dans les processus d'apprentissage et de mémorisation.
Il interagit avec le système immunitaire et constitue un élément de défense contre les organismes invasifs ; il fait partie de la panoplie

## Les enzymes, ces catalyseurs de notre organisme

Les organismes vivants possèdent des millions d'enzymes. Il s'agit généralement de protéines, formant typiquement des amas de chaînes entremêlées (hélices, feuillets et coudes, de tailles différentes, *Fig. 4*) qui transforment des substrats de notre organisme en produits nécessaires à son fonctionnement.

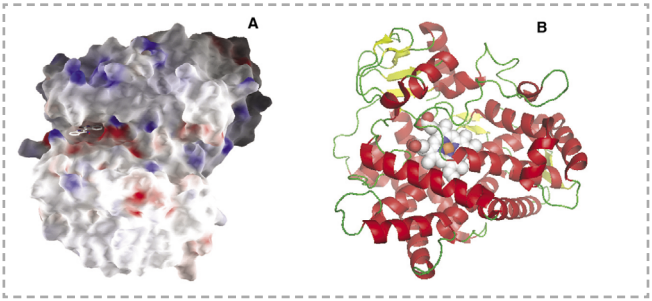



**Figure 4**

Les scientifiques modélisent les protéines, soit sous forme d'un amas d'atomes (A), soit par un ensemble constitué d'hélices, de feuillets et de coudes (en B est représentée une enzyme : le cytochrome P450 2D6).

Le scénario classique de l'action d'une enzyme est le suivant : le substrat vient se fixer sur le « site actif » de l'enzyme pour former le complexe substrat-enzyme. Dans ce site actif se produit alors une série de réactions chimiques, aboutissant à la formation d'un produit, qui va pouvoir être utilisé par l'organisme (*Fig. 5*).

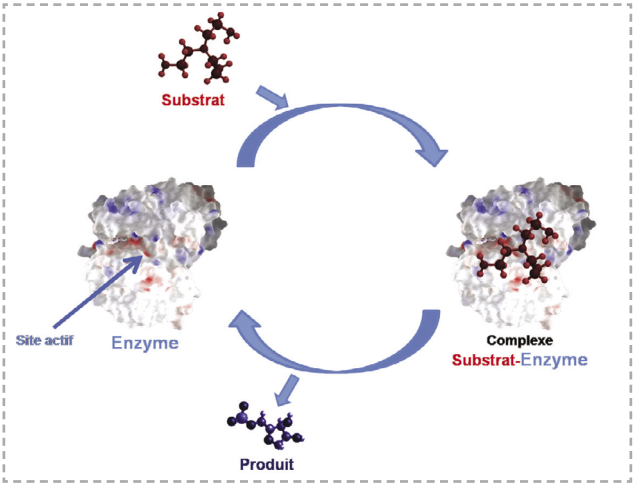



**Figure 5**

Schéma général d'une réaction enzymatique : une succession de réactions chimiques. Source : CNRS Photothèque.

Les enzymes sont des catalyseurs qui accélèrent les réactions jusqu'à des millions de fois, et sont, comme les catalyseurs chimiques classiques, régénérées à la fin de chaque cycle de transformation. Certaines enzymes ont besoin d'alliés pour travailler : des cofacteurs. Ces molécules s'insèrent dans l'enzyme à proximité du substrat, et participent à la réaction enzymatique.

d'espèces réactives produites par l'organisme pour détruire les bactéries, les virus, les parasites ou les tumeurs cancéreuses.

**Médiateur chimique :** molécule produite par une cellule et agissant sur une autre cellule possédant un récepteur spécifique de ce médiateur.

### Comment l'organisme produit-il le NO ?

La biosynthèse fait intervenir une première enzyme la NO synthétase. Elle appartient à la famille des hémoprotéines, c'est-à-dire qu'elle comporte en son sein, une molécule d'hème au cœur de laquelle se trouve un atome de fer.

La NO synthétase catalyse l'oxydation de la chaîne latérale d'un des acides aminés essentiels, comme l'arginine, conduisant à la formation de citrulline et de NO.

La citrulline va jouer un rôle majeur dans l'équilibre azoté de l'organisme (homéostasie azotée), dans la régénération de l'arginine comme dans l'augmentation très significative de la masse musculaire.

Le NO va interagir avec une nouvelle hémoprotéine, la guanylate cyclase, qui va donner l'ordre d'une vasodilatation et neurotransmission.

# La chimie dans l'apport thérapeutique par les médicaments

Un médicament c'est d'abord une molécule chimique !

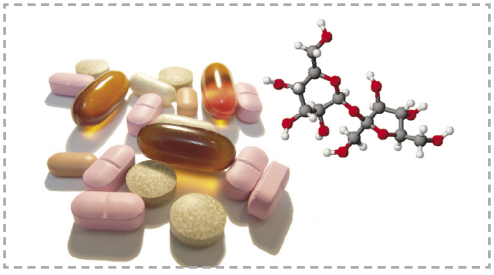


**Figure 6**

Un médicament, c'est d'abord une molécule.

Si l'informatique est la révolution du XXIe siècle, celle du XXe siècle reste le médicament.

En effet au début du XXe siècle, on connaît quelques sédatifs contre la douleur (en particulier l'aspirine découverte par Hippocrate en 380 avant notre ère) mais encore rien de véritablement efficace dans un domaine qui fait des ravages, celui des anti-infectieux.

**Figure 7**

Anti-infectieux, antibiotiques.

## Comment fait-on pour découvrir et mettre sur le marché un médicament ?

Tout d'abord, il faut savoir que le parcours sera long, voire même parfois très long.

### La nouveauté passe surtout par l'observation

Il faut commencer par trouver la bonne idée sur la base des connaissances et de l'éducation acquises.

La plupart des exemples nous enseignent que pour l'essentiel, les bonnes idées ont comme origine l'observation et plus particulièrement celle de la nature et son équilibre.

## Découverte du diabète et son rôle dans la régulation de la glycémie (taux du sucre dans le sang)

C'est Hippocrate le premier (en 380 avant notre ère) qui observe que certains individus souffraient de la polydipsie (envie de boire) et simultanément de polyurie (envie d'uriner). Le goût des urines étant sucré, il en déduit une pathologie qu'il appelle « la maladie du passant sucré ». Passant en grec veut dire diabète, faisant ainsi allusion à l'eau que l'on buvait (polydipsie) et l'envie d'uriner (éliminer) aussitôt.

Ce n'est que vers 1930 que l'insuline, traitement de choix de nos jours, a pu être identifiée comme alternative thérapeutique efficace. C'est-à-dire environ 2 300 ans plus tard !

### Les essais sur tissus humains

L'humanisation des essais signifie, qu'à ce jour, la science est en mesure de mettre en condition de culture des cellules et/ou leurs récepteurs et/ou des enzymes cibles provenant de différents tissus humains et procéder à des expériences dans un tube à essai. Ceci est sans dire que cette évolution a considérablement réduit l'expérimentation animale.

Ainsi à titre d'exemple, des hépatocytes humains (cellules du foie) peuvent être cultivés pour prévoir la métabolisation des futurs médicaments chez l'homme.

Les essais sont miniaturisés voire robotisés, ce qui permet de tester le pouvoir de métabolisation de dizaines voire de dizaines de milliers de molécules à la fois par jour. Ces essais sur cellule humaine rendent beaucoup plus pertinent le choix de la molécule candidate.

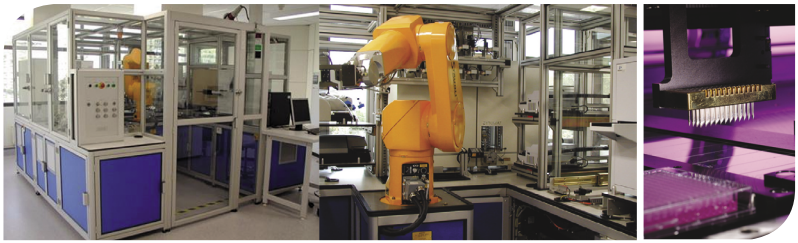


**Figure 8**

Les compagnies pharmaceutiques sont armées de robots de plus en plus performants permettant de tester en quelques jours leurs chimiothèques qui peuvent dépasser le million de molécules. Celles-ci sont obtenues par synthèse ou par extraction de milieux naturels. Par ailleurs, plusieurs millions de molécules sont aujourd'hui commercialement disponibles. À droite, Robot pour le criblage de molécules. Source : CNRS Photothèque.

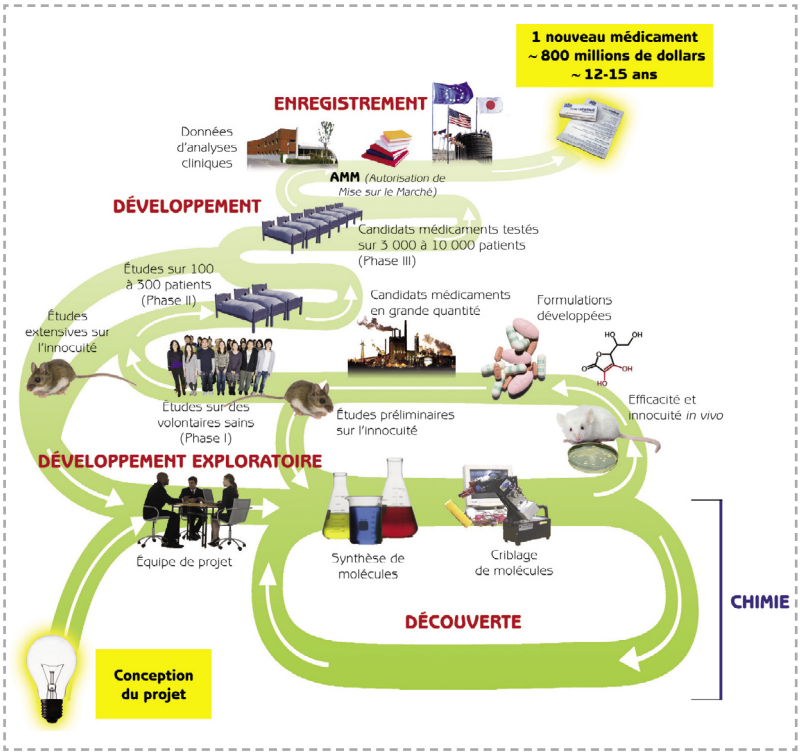
Il faut souligner qu'entre la découverte dans le laboratoire d'un candidat médicament et le moment où, reconnu efficace et sans danger, il sera mis sur le marché, le cheminement est long et rempli d'obstacles (cf. *Fig. 9*).

Au terme du processus, un seul médicament sur plusieurs milliers testés sera commercialisé et ce, après l'intervention d'une multitude

d'acteurs aux métiers différents (chimistes, pharmaciens, informaticiens, physiciens, médecins, patients, financiers, juristes…).

**Figure 9**

De l'idée à la mise sur le marché d'un nouveau médicament : un long cheminement. Le chimiste y tient un rôle fondamental. C'est lui qui mène le jeu dans la première phase du processus d'élaboration des médicaments, le « discovery » : l'étape où l'on identifie une molécule active.




## *Un exemple typique qui a duré presque 30 ans : la découverte du taxol et taxotère, une histoire et un défi de chimiste*

Le taxol substance anticancéreuse présentait dans les années 1970 un avantage majeur par rapport à la chimiothérapie existante.

Alors que la majorité des thérapeutiques avaient comme cible directe le matériel génétique (ADN), le taxol ciblait plutôt une protéine, la tubuline, nécessaire à la division de la cellule cancéreuse et son développement.

Le taxol est un extrait de l'if, arbuste présent dans les forêts primaires de l'Ouest. Découvert dans les années 1960 puis caractérisé dans les années 1970, il a dû par la suite subir de multiples modifications chimiques par des équipes françaises à Gif-sur-Yvette (CNRS, Essonne) pour conduire au taxotère, médicament largement utilisé pour son efficacité dans les cancers des ovaires, poumons…

Nous ne pouvons dans cet ouvrage démultiplier les exemples car plus de deux cents protéines humaines sont cibles de nombreuses familles des médicaments qui conduisent aujourd'hui à un arsenal thérapeutique de plusieurs milliers de composés chimiques.
Précisons que la moyenne de vie étant aujourd'hui aux environ de 80 ans, la médication, donc les molécules chimiques, en particulier à partir de 60 ans, joue un rôle majeur pas seulement pour la survie et la longévité mais aussi pour la qualité de vie préservant ainsi les individus dans un état d'éveil, de bien-être, de productivité sociétale…

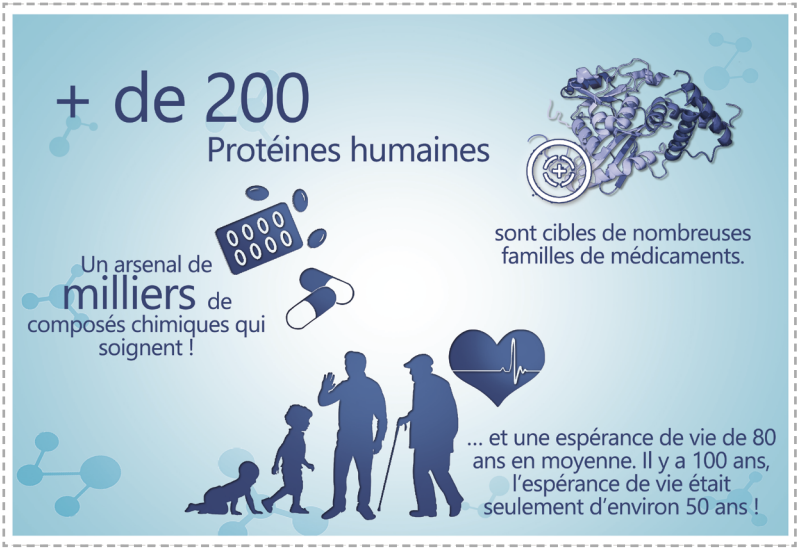



**Figure 10**

Quelques chiffres clés.

# La chimie dans les autres domaines de la santé

Nous avons vu dans ce chapitre que la contribution de la chimie au niveau de la compréhension des mécanismes moléculaires du vivant et celle au niveau thérapeutique médicamenteuse était majeure.
Néanmoins, la contribution de la chimie dans d'autres secteurs de la santé est aussi considérable.

## Les outils de diagnostic

Ils interviennent dans la prévention et la détection :

- prévenir les risques cardiovasculaires en mesurant le taux de cholestérol dans le sang, les risques de diabète en contrôlant le taux de glycémie, etc.
- détecter des anomalies au sein de nos tissus par un examen d'imagerie avec des produits de contraste.

## Les prothèses

Le secteur des prothèses où la chimie intervient pour déterminer les matériaux compatibles avec les tissus humains de greffage :

- les prothèses dentaires ;
- les lentilles oculaires ;
- cœur artificiel ;
- les prothèses de genou et hanche…

## Les vaccins

La chimie intervient dans l'éducation de notre système de défense sur la configuration moléculaire d'un envahisseur potentiel tel que le prochain virus de la grippe. Ainsi, certaines maladies infectieuses sont aujourd'hui rayées de la carte de pathologie médicale.

## Conclusion

**Les progrès indiscutables dans les domaines technologiques comme la biotechnologie, l'informatique, l'imagerie, la chimie analytique, la bioinformatique, la robotique, la biologie de synthèse, les connaissances acquises et celles qui viennent d'une façon exponentielle dans le domaine des « omiques » (génomique, transcriptomique, protéomique, métabolomique…) sont en train de complètement bouleverser les approches thérapeutiques, la compréhension des pathologies, leur suivi, les marqueurs qui les caractérisent comme les métiers qui les entourent. Ils interviennent pour les futurs traitements, pronostiques, diagnostiques, interventions physiques et chirurgicales, voire pour la « fabrication » des organes nouveaux à travers les connaissances acquises sur les cellules souches et leur dimensionnement au moyen des techniques 3D… Les compétences exigées de demain sont à la fois différentes et évolutives.**
**La prise en charge de la santé demain sera d'une façon imagée un tube technologique où le patient rentrera pour faire un parcours d'examens et à la sortie il recevra le bulletin de traitement à suivre… La médecine d'aujourd'hui sera déshumanisée mais la transdisciplinarité restera plus que jamais d'actualité.**

3 PARTIE

# L'HYGIÈNE ET LA BEAUTÉ

# LES PRODUITS D'HYGIÈNE ET DE SOINS CORPORELS

La contemplation des rayons d'un supermarché montre immédiatement la diversité des produits d'hygiène et de soins corporels. Pour tous ces produits, l'odeur est pour le consommateur un facteur d'identification souvent primordial et fait l'objet d'efforts considérables développés par les fabricants pour fidéliser leur clientèle.

## *Le design olfactif des produits ménagers et des soins corporels*

L'odeur est devenue un élément de marketing.
Les lessives ont d'abord été parfumées pour masquer l'odeur peu agréable de certains de leurs composants. Puis les utilisateurs ont pris l'habitude de sentir le linge quand il sort de la machine à laver et d'apprécier qu'il ait une « odeur de propre », ce qui ne veut rien dire ! car un linge propre ne doit rien sentir du tout. Et un linge qui sent bon peut être sale ! (*Fig. 1*).

**Figure 1**
L'odeur de propre ne signifie pas propre !

Les fabricants ont donc mis de plus en plus de parfums dans les lessives et par extension dans tous les produits ménagers car les odeurs sont aussi des véhicules d'émotions : odeur de nature, de bonne santé (pour les dentifrices), d'exotisme…

Tous les produits d'hygiène sont des bases variées pour le parfumeur et donc des objectifs de recherche et d'innovation.

Parfumer les produits fonctionnels consiste non seulement à créer de bonnes odeurs mais aussi à éliminer les odeurs déplaisantes. Le *tableau 1* résume les différentes étapes à réaliser.

**Remarque**

Donner satisfaction aux consommateurs en leur procurant des lessives et des produits ménagers parfumés conduit à un métier original : parfumeur de produits fonctionnels.

**Tableau 1** **Élimination des odeurs déplaisantes des produits fonctionnels.**

- Isoler les composants moléculaires du milieu odorant.
- Identifier la composition chimique.
- Identifier les molécules malodorantes.
- Comprendre les phénomènes de formation des molécules malodorantes pour les éviter.
- Développer des solutions pour bloquer l'accès des molécules malodorantes aux récepteurs olfactifs.
- Altérer la perception des odeurs déplaisantes en mettant en œuvre une ingénierie moléculaire intelligente.

***Un séquestrant*** fixe une molécule et lui conserve sa stabilité.

**Remarque**

Il faut tenir compte du rinçage et/ou du non-rinçage des produits pour obtenir la rémanence du parfum.
Il faut aussi tenir compte des températures d'usages.

Pour parfumer les produits fonctionnels, le parfumeur doit connaître les propriétés sequestrantes du constituant majoritaire du produit pour chacune des molécules parfumées constituant l'odeur choisie, et ce afin de choisir les meilleures pour préserver le caractère de sa composition au cours des différentes utilisations.

Cela entraîne une recherche sur différents types de molécules ou de technologies.
Par exemple, dans les nouvelles lessives, on ajoute au parfum de base des parfums micro-encapsulés qui sont libérés quand on frotte le linge sec. Les micro-capsules permettent ainsi au consommateur d'avoir une seconde expérience olfactive au moment voulu de l'utilisation du produit (*Fig. 2*).

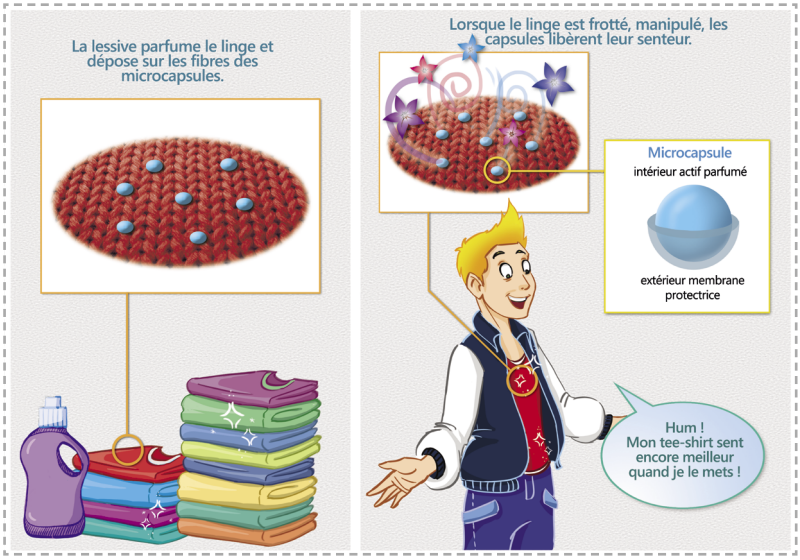



**Figure 2**

Les microcapsules responsables d'une seconde expérience olfactive.

***Rémanence :*** fait de se maintenir et de persister dans certaines conditions.

Le rôle du chimiste est d'analyser la stabilité chimique des molécules après les différents traitements subis par le produit durant son utilisation.

Cependant, les récepteurs olfactifs humains ont des sensibilités bien supérieures à celles des chromatographes en phase gazeuse (CPG-MS). En effet, ils peuvent identifier de très petites quantités de molécules là ou la CPG-MS ne verra rien (*Fig. 3*).

**Remarque**

Pour obtenir le meilleur résultat olfactif possible, il faudra donc coupler l'analyse chimique avec l'analyse sensorielle, réalisée par des panels d'experts entraînés et expérimentés capables de donner des notes absolues d'intensité d'odeurs (*Fig. 3*).

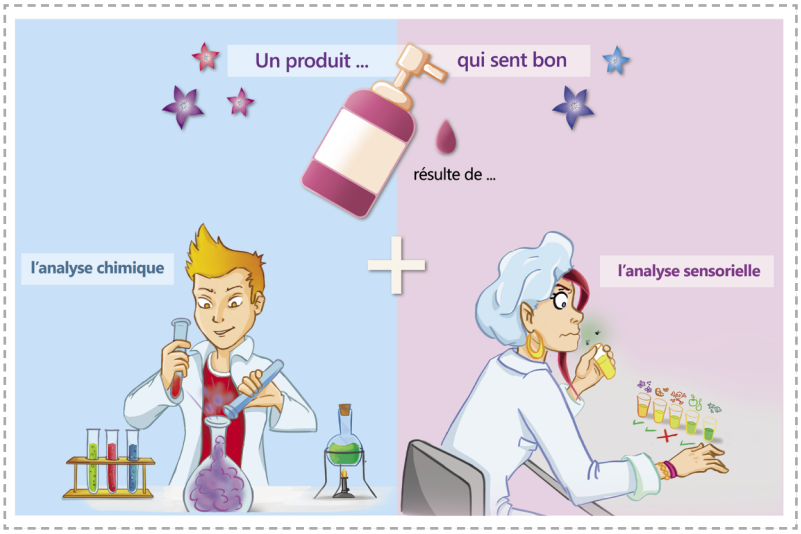



**Figure 3**

Couplage de l'analyse chimique et l'analyse sensorielle.

Les chimistes identifieront par exemple la dégradation de molécules comme les esters. Effectivement, ceux-ci conduisent à des odeurs acides désagréables alors qu'ils sont souvent utilisés dans les produits d'hygiène car ces molécules sentent le frais et le propre.

De même, la damascone qui est une cétone à odeur de rose est très utilisée mais pas très stable et quand elle se décompose elle sent très mauvais.

# La propreté au quotidien : une industrie qui présente un large éventail de produits

Les savons, les détergents et les produits d'entretien sont utilisés chaque jour par des millions de consommateurs. Ils permettent d'assurer la propreté et l'hygiène pour une vie saine à l'intérieur comme à

l'extérieur des foyers, des collectivités et des industries. Ils éliminent les taches et les salissures sur nos vêtements et nous aident aussi à garder nos biens en bon état.

L'éventail de produits proposés est très large (*Fig. 4*).

**Figure 4**

Une large gamme de produits pour l'entretien du quotidien.

## Pour le linge

- Lessives à la main comme à la machine sous toutes ses formes ;
- auxiliaires de lavage (anticalcaire, assouplissant, détachant, déjaunisseur…) ;
- aide au repassage : apprêt…
- teintures ;
- savons.

Chaque jour en France, 17 millions de charges de linge sont lavées en machine (source Unilever). Aujourd'hui, plus de 80 % de la lessive est vendue sous forme liquide et de capsules hydrosolubles.

Le secteur de la lessive fait aussi des efforts en termes de développement durable, par exemple :

- utiliser des doses réduites de lessive grâce à des formules plus concentrées, ce qui permet de réduire les quantités de matériaux d'emballage et les volumes de transport ;
- économiser de l'énergie en favorisant le lavage en machine à 30 °C.

Pour préserver l'environnement, les phosphates ont été éliminés depuis 2007 des lessives et depuis janvier 2017, des détergents pour la vaisselle.

**Remarque**

Le développement d'une lessive est un challenge qui nécessite d'investir en recherche et développement pour mettre au point de nouveaux produits. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs au niveau des propriétés d'usage, de la facilité de l'utilisation, de l'esthétique de l'emballage.

## Pour la vaisselle

- Produits de lavage pour vaisselle à la main comme à la machine ;
- liquide de rinçage ;
- sels régénérants.

En réduisant et contrôlant les volumes utilisés, les produits de lavage de la vaisselle en machine sous forme de tablette hydrosolubles contribuent à la réduction des impacts environnementaux.
Des molécules plus performantes en termes de dégraissage ont été mises au point.

## Pour le nettoyage et l'entretien des surfaces

L'eau de Javel utilisée depuis plus de 200 ans correspond à des solutions d'hypochlorite de sodium. Elle est encore largement utilisée pour ses propriétés de blanchiment, de détachage et de désinfection. Elle est active contre les virus, bactéries, spores, champignons et parasites.

Chaque année, les français consomment environ 245 millions de litres d'eau de Javel (http://www.eaudejavel.fr).

De nombreux autres nouveaux produits dont la composition sera expliquée plus loin sont utilisés pour nettoyer plus ou moins spécifiquement les surfaces très diverses de la vie quotidienne : tapis et moquettes, meubles et sols, vitres, sanitaires, cuirs, bois, métaux…

**Remarque**

En 1969, la NASA a utilisé de l'eau de Javel pour désinfecter les combinaisons des cosmonautes à leur retour sur Terre.

## Les produits biocides

On regroupe sous ce terme un ensemble de produits destinés à détruire, repousser, ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à prévenir ou à combattre, par une action chimique ou biologique.

Les biocides sont classés en quatre grands groupes (divisés en 22 types de produits différents) : les désinfectants, les produits de protection (dont les conservateurs), les produits de lutte contre les nuisibles (dont les insecticides, rodenticides, répulsifs et les appâts), les autres produits.

***Rodenticide :*** substance active qui a la propriété de tuer les rongeurs susceptibles d'être nuisibles pour l'homme.

## L'air intérieur

Les désodorisants d'atmosphère sont très largement utilisés. Les gels concentrés en parfum ont laissé la place à des diffuseurs « intelligents », de toutes tailles dont on peut régler les périodes de diffusion.

Ces désodorisants dits d'ambiance font l'objet d'une série de tests rigoureux et de contrôle, même après leur mise sur le marché.

# Compositions chimiques et propriétés des produits d'hygiène quotidiens

**Remarque**

La formulation des produits est très importante : certains composants donnent à un produit ses propriétés actives, d'autres favorisent sa dissolution dans l'eau, d'autres encore lui donnent de la couleur ou comme nous l'avons vu précédemment, un parfum agréable (*Fig. 5*).

Compte tenu du nombre et de la diversité des produits, nous nous limiterons à des informations sur les principales familles de composants chimiques et sur leur rôle dans les produits d'hygiène quotidiens.

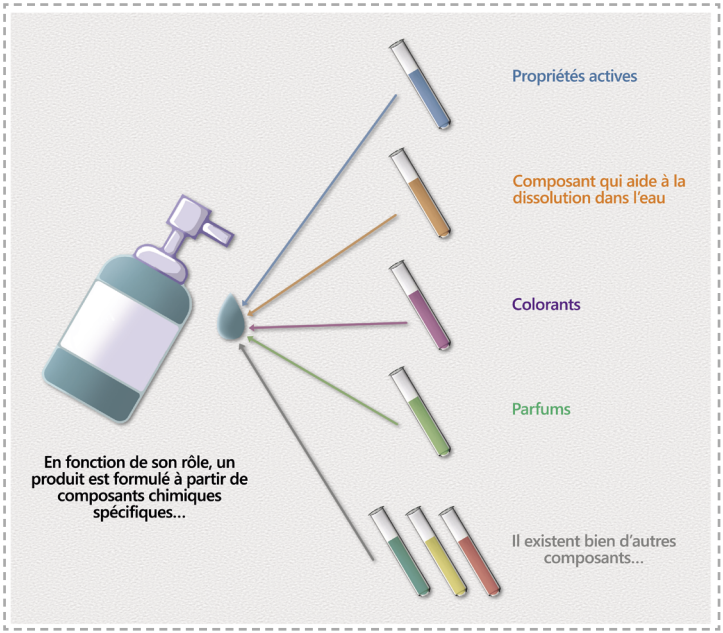



**Figure 5**

Formulation des produits d'hygiène et de détergence.

## Les abrasifs

Pour éliminer mécaniquement les diverses salissures, on ajoute du carbonate de calcium $CO_3Ca$.

## Les adjuvants

Pour réduire la dureté de l'eau et renforcer le pouvoir nettoyant en élimant les ions calcium et magnésium, on ajoute différents produits (*Tab. 2*).

**Tableau 2** **Adjuvants.**

| | |
|---|---|
| **Carbonate de sodium** | Augmente le pH.<br>Précipite les sels de calcium et de magnésium. |
| **Silicate de sodium** | Inhibiteur de corrosion. |
| **Poly-carboxylates** | Polymères solubles qui adsorbent les cations divalents $Ca^{2+}$ et $Mg^{2+}$. |
| **Phosphates** | Séquestrent, c'est-à-dire forment des composés stables avec $Ca^{2+}$ $Mg^{2+}$ et les éliminent de la solution. |

## Les agents de charges

Ils sont ajoutés pour augmenter le volume de produit dans le but de le diluer pour qu'il soit utilisé à la bonne concentration. Par exemple dans les tablettes solides de lave-vaisselle, on utilise du sulfate de sodium $SO_4Na$.

## Les agents oxydants

Ils éliminent les taches par oxydation.
**L'hypochlorite de sodium NaClO** est connu sous le nom d'eau de Javel. Lors de son utilisation, il oxyde notamment les composés organiques et est transformé en chlorure de sodium.

Il est rare de trouver un produit aussi polyvalent que le **percarbonate de sodium** (appelé aussi percarbonate de soude).
De formule $2Na_2CO_3\text{-}3H_2O_2$, il est fabriqué à partir de carbonate de sodium aussi appelé « cristaux de soude » et de peroxyde d'hydrogène, aussi appelée « eau oxygénée ». C'est d'ailleurs en cela qu'il se

transforme lorsqu'il est dilué dans l'eau, en cumulant les avantages de ces deux molécules aux propriétés complémentaires.
Les cristaux de soude ($Na_2CO_3$) sont un puissant dégraissant et adoucissant qui neutralise le calcaire de l'eau et renforce l'efficacité des savons. Ils dissolvent de nombreuses taches d'origine organique (graisse, sauces, sang…) et peuvent aussi être utilisés comme agent de surface tensioactif.

**L'eau oxygénée ($H_2O_2$)** est un puissant blanchissant et désinfectant grâce à son fort pouvoir oxydant.
$Na_2CO_3$ et $H_2O_2$ se combinent également pour désodoriser le linge et toutes les surfaces.
Au cours du lavage, le peroxyde est consommé et le carbonate reste.

## Les enzymes

Les enzymes sont des catalyseurs qui accélèrent la vitesse de certaines réactions chimiques. Dans l'industrie des détergents, elles sont utilisées pour mieux éliminer les taches, en accélérant le blanchiment, et en respectant les tissus et les couleurs.
Parmi les plus utilisées, on retrouve :

***Mannane :*** polymère végétal que l'on trouve dans les sauces de barbecue, le chocolat, la crème glacée, le dentifrice.

– **les mannanases** qui dégradent les taches qui contiennent des mannanes ;

– **les cellulases** qui réduisent la redéposition de particules comme la suie, l'argile, la rouille ;

– **les lipases** qui dégradent les taches grasses ;

– **les amylases** qui dégradent les taches qui contiennent de l'amidon (pâtes, pommes de terre…) ;

– **les protéases** qui dégradent les taches qui contiennent des protéines (herbe, sang, œuf, viande…).

## Les séquestrants

**Les phosphonates** sont des composé organophosphorés caractérisés par le groupe $RPO(OR')(OR'')$, dans lequel $R$, $R'$ et $R''$ représentent un atome d'hydrogène, un groupe alkyle ou un groupe aryle.
Ils forment des composés stables avec les ions métalliques de l'eau de lavage pour les empêcher d'avoir un impact négatif sur les performances, l'apparence, ou la stabilité d'un produit.

## Les tensio-actifs

Ils sont utilisés pour modifier la tension de surface de l'eau, afin de contribuer au nettoyage, au mouillage des surfaces, à la formation de mousse et d'émulsion (suspension d'un liquide dans un autre).

Selon l'usage, les tensio-actifs peuvent être anioniques, cationiques, amphotères ou non ioniques (*Fig. 9*, Encart « Les tensio-actifs »).

### *Les tensio-actifs*

Les tensio-actifs sont des molécules solubles dans l'eau qui possèdent la propriété de s'agréger aux interfaces entre l'eau et d'autres substances peu solubles dans l'eau, en particulier les corps gras. Ces molécules sont constituées de deux parties, l'une lipophile (qui peut se lier aux matières grasses) et l'autre hydrophile (qui peut se lier à l'eau). La partie lipophile n'a pas de charge électrique (électrostatique), alors que la partie hydrophile a une certaine charge électrique.

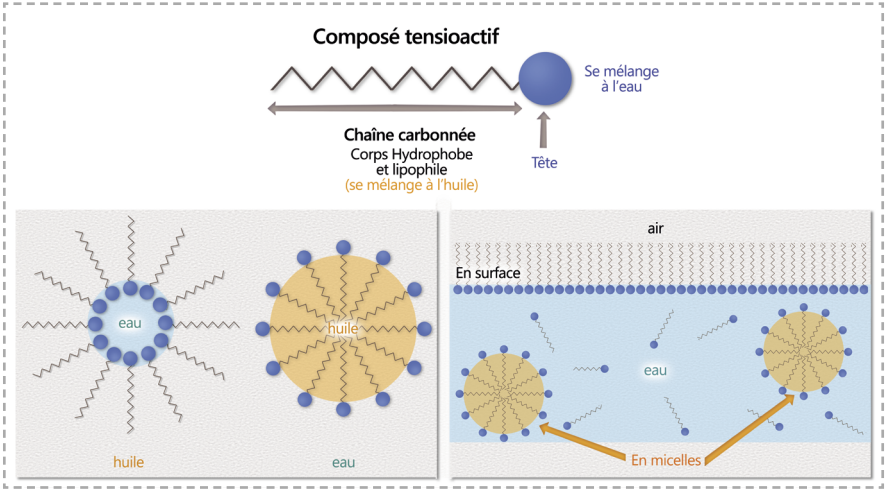



**Figure 6**

Composé tensioactif.

Placés en milieu aqueux, les tensio-actifs s'orientent de façon à éviter que leur partie hydrophobe soit au contact avec l'eau : soit ils se placent à la surface de l'eau, soit, pour ceux qui sont en solution, ils se rassemblent en amas (micelles) par regroupement de leur partie hydrophobe au centre, la partie hydrophile isolant celle-ci à l'extérieur.

## Que font les effets des tensio-actifs sur la salissure ?

1. Action détergente : décrochage de la salissure, à laquelle la partie lipophile se lie.
2. Action émulsifiante : solubilisation de la salissure et entraînement dans l'eau de rinçage.

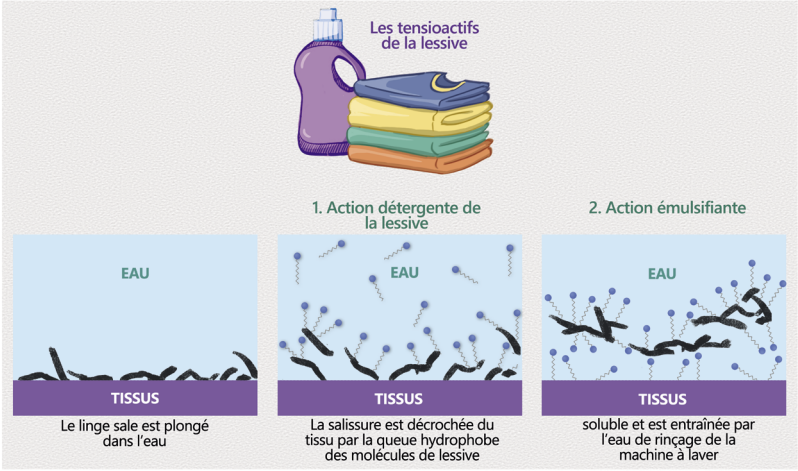



**Figure 7** Les tensioactifs de la lessive : action détergente, action émulsifiante.

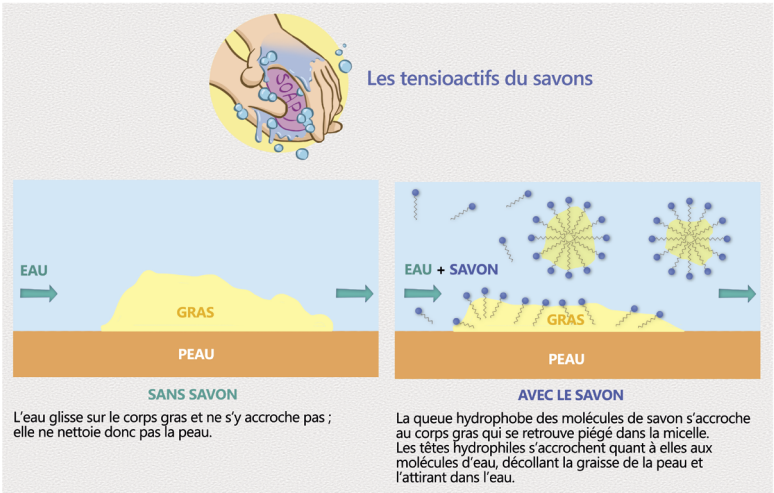



**Figure 8** Les tensioactifs du savon.

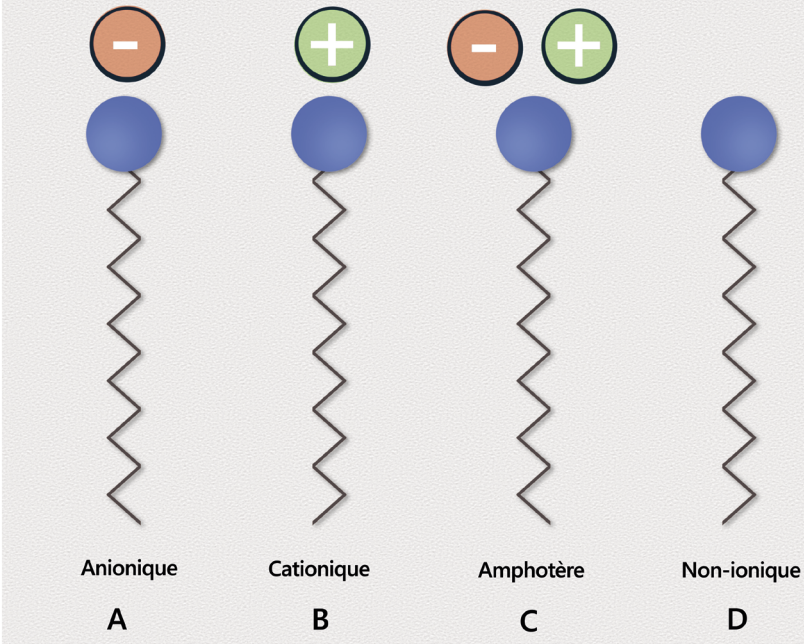



**Figure 9**

Les différents tensio-actifs.

De gauche à droite :
A) tensio-actif anionique ;
B) tensio-actif cationique ;
C) tensio-actif amphotère en milieu acide ;
D) tensio-actif non ionique.

## Tensio-actifs anioniques

Les tensio-actifs anioniques ont une tête hydrophobe chargée négativement (*Fig. 9A*). Ils ont une balance hydrophile/lipophile (HLB) relativement élevée (8 à 18). Ils orientent l'émulsion dans le sens huile dans l'eau si HLB > 18, ils décrochent la salissure, ce sont des détergents (voir Encart « Les tensio-actifs »).

Parmi ce type de tensio-actifs, on peut citer les savons, qui sont des sels d'acides gras, de formule générale RCOOM (R = longue chaîne hydrocarbonée, M = un métal, un alcalin ou une base organique). Selon la nature du groupe M, on distingue les savons alcalins (savons

de $Na^+$, $K^+$, $NH_4^+$), les savons métalliques (de calcium surtout) et les savons organiques (savon de triéthanolamine par exemple, dont le stéarate de triéthanolamine).

### Tensio-actifs cationiques

Les tensio-actifs cationiques ont une partie hydrophobe chargée positivement (*Fig. 9B*). Ce sont généralement des produits azotés (avec un atome d'azote chargé positivement). On peut citer les sels d'ammonium quaternaire : sels d'alkyltrimethylammonium (bromure d'alkyltrimethylammonium), sels d'alkylbenzyldimethylammonium (exemple : chlorure de benzalkonium). Ils ont des propriétés bactériostatiques et émulsifiantes (voir Encart « Les tensio-actifs »). Ils ont une affinité avec la kératine de la peau ou des cheveux, qui est chargée négativement ; ils se combinent avec elle pour former un film lisse.
On les utilise dans les après-shampoing, les shampoings antipelliculaires, certaines teintures, les déodorants. C'est le produit actif des assouplissants textiles ajoutés au moment du rinçage. Dans les nettoyants ménagers, ils contribuent aux propriétés désinfectantes et assainissantes.

### Tensio-actifs zwitterioniques ou amphotères

Les tensio-actifs amphotères contiennent à la fois des groupes acides et basiques (*Fig. 9C*). En conséquence, suivant le pH du milieu où ils se trouvent, ils libèrent un ion positif ou un ion négatif :

- en pH basique, ils se comportent comme des tensio-actifs anioniques ;
- en pH acide, ils se comportent comme des tensio-actifs cationiques.

Il existe différentes classes chimiques de tensio-actifs amphotères. Ces tensio-actifs sont très doux. On peut citer :

- la bétaïne de cocamidopropyle qui contient un groupe ammonium quaternaire et un groupe acide carboxylique (utilisée comme agent moussant) ;
- les dérivés de l'imidazoline (moussants et antiseptiques bien tolérés par la peau et les muqueuses, dont la muqueuse oculaire) ;
- les polypeptides, peu irritants pour la peau (utilisés dans les shampoings, crèmes, laits démaquillants, etc.).

### Tensio-actifs non ioniques

Leur molécule ne comporte aucune charge nette (ne s'ionise pas dans l'eau), ce qui leur permet de résister à la désactivation par la « dureté de l'eau » (*Fig. 9D*). Ce sont d'excellents agents pour éliminer les

graisses. Ils sont utilisés dans les lessives, les nettoyants ménagers, les liquides de lavage à la main de la vaisselle.

Beaucoup d'autres composés sont aussi ajoutés selon les besoins d'utilisation du produit final.

## Des régulateurs de pH

Les nettoyants acides sont efficaces pour éliminer les traces de dépôts calcaires et la rouille. Les nettoyants alcalins enlèvent les traces de graisse.

## Des précurseurs d'agents de blanchiment

Ce sont souvent des catalyseurs qui augmentent les performances de l'agent de blanchiment d'un détergent en le rendant actif à plus basse température.

## Des conservateurs

Ils protègent la contamination du produit par les micro-organismes.

## Des inhibiteurs de corrosion, des colorants, des solvants

# La sécurité des produits d'hygiène quotidiens

## Évaluation des risques d'utilisation

La formulation chimique des produits doit être de haut niveau non seulement pour obtenir de bons résultats mais aussi pour garantir la sécurité de leur utilisation.

Les détergents et les produits d'entretien et de nettoyage domestiques sont sans danger s'ils sont entreposés et utilisés conformément aux instructions figurant sur l'étiquette.

**Remarque**

Les produits d'hygiène doivent être soumis à des tests rigoureux. Il faut des modes d'emploi faciles à respecter et des étiquettes faciles à lire. Il faut donner les informations permettant d'évaluer les risques, de connaître non seulement les dangers intrinsèques du produit, mais aussi la façon d'atténuer ce danger en limitant l'exposition à un niveau acceptable.

Les mentions et les pictogrammes suivants (que vous trouverez sur les emballages/flacons de détergents et de produits de nettoyage) doivent toujours être respectés (*Fig. 10*).

Conserver hors de portée des enfants.

Éviter le contact avec les yeux. Après contact avec les yeux, rincer abondamment avec de l'eau.

Se rincer les mains après utilisation.

Peau sensible ou blessée. Éviter un contact prolongé avec le produit si la peau est sensible ou blessée.

Ne pas ingérer. En cas d'ingestion, consulter un médecin.

Conserver uniquement dans le récipient d'origine.

Ne pas mélanger avec d'autres produits.

Après utilisation, aérer la pièce.

Manipuler avec des mains sèches.

Bien refermer la boîte.

Bien refermer le sachet.

Ne pas percer, déchirer ni couper.

**Figure 10**

Les mentions et les pictogrammes.

## Les allergies

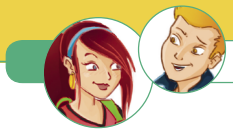
Les détergents et produits d'entretien subissent des tests destinés à éviter les allergies.
Les parfums et les conservateurs sont considérés comme les plus susceptibles de provoquer des allergies, bien que cela soit assez rare.
Ils doivent donc être clairement mentionnés sur les étiquettes.
Pour les parfums, 26 substances allergènes ont été identifiées par le Comité scientifique pour la sécurité du consommateur (CSSC). Les consommateurs qui se savent allergiques à ces substances peuvent ainsi décider si le produit leur convient.

**Remarque**

Le site Internet du fabricant ou de la marque doit permettre d'obtenir la liste complète des composants du produit. Le service clientèle du fabricant peut être contacté par courrier ou téléphone pour avoir plus d'informations spécifiques.

## Conclusion

**La chimie est donc largement présente à tous les niveaux de la recherche et développement, de la fabrication, du packaging, et de la sécurité des produits d'hygiène quotidiens.**
**Bien que la chimie de base soit classique, l'innovation intervient à tous ces niveaux pour mieux adapter cette large gamme de produits aux attentes toujours renouvelées des consommateurs, sur l'efficacité, la facilité d'utilisation, la sécurité, le respect de l'environnement, les qualités sensorielles de ces produits.**



# LA PEAU AU QUOTIDIEN : PROTECTION ET EMBELLISSEMENT

Première barrière de protection de notre corps, la peau protège nos tissus et nos organes des agressions extérieures potentielles et joue d'autres rôles importants pour l'équilibre de notre santé comme ceux de régulateur des échanges de chaleur, de la synthèse d'hormones et de la protection immunitaire.

Les maladies de la peau sont nombreuses, souvent bénignes, parfois aux conséquences désagréables, mais elles peuvent devenir graves et même dangereuses quand il s'agit des cancers de la peau tels que les carcinomes et les mélanomes.

Depuis la plus Haute Antiquité, la beauté de la peau, son aspect, sa couleur jouent un rôle important à la fois pour notre moral et pour notre vie sociale.

Les valeurs changent selon les époques, les pays, les civilisations, les modes de vie, les âges et les sexes.

Traiter tous ces aspects dans un seul chapitre est impossible, nous nous limiterons donc à vous expliquer ce qui est important pour des adolescents des deux sexes pour protéger et embellir la peau afin de garder ce précieux capital pour le futur.

# La cosmétique est une science dans laquelle depuis l'Antiquité la chimie tient une place importance

La chimie et ses technologies étaient déjà utilisées pour préparer les fards de l'Égypte ancienne : 40 jours étaient parfois nécessaires pour fabriquer certains composés chimiques indispensables à leur préparation[1].
Déjà à cette époque, protection et embellissement étaient liés : en effet un procédé chimique donnait naissance à deux composés, la laurionite et la phosgénite qui en plus d'embellir, détruisaient les bactéries et protégeaient les yeux des affections qui accompagnaient les crues du Nil.
Cependant à cette époque, on s'intéressait peu à la toxicité des produits et les Égyptiens qui maîtrisaient la chimie des solutions élaboraient des produits à base de galène, un sel de plomb heureusement interdit aujourd'hui en cosmétique.

L'Égypte ancienne a néanmoins transmis[1] une série de recettes pour protéger la peau de l'action du Soleil, de la sécheresse du désert et aussi du vieillissement naturel de la peau.

Comme aujourd'hui, la médecine gréco-romaine distinguait deux types de soins du corps (*Fig. 1*) :

- la **cosmétique** ou l'art de la toilette avec tous les produits de soins qui permettent de préserver la beauté naturelle : crèmes, pommades, onguents avec des recettes de préparation qui peuvent nécessiter parfois 20 ingrédients différents, était une pratique noble déjà très importante dans la vie quotidienne des personnes ;
- la **commotique** (nom donné par le médecin grec Claudius Galien) correspond aux produits de maquillage et consiste à modifier son apparence avec des produits qui confèrent à la peau un éclat, ou

1. Philippe Walter, « Chimie, dermo-cosmétique et Beauté », EDP sciences, 2016, p. 18.

**Figure 1**

La cosmétique ou l'art de la toilette, la commotique ou l'art du maquillage.

des contrastes de couleur correspondant à un certain idéal de beauté qui change à travers les époques et les modes. La commotique n'a pas été sans danger pour la santé : un bon exemple est celui de la céruse, ce pigment appelé aujourd'hui, blanc de plomb, déjà décrit par des auteurs comme Platon et Aristophane et dont l'emploi fut dominant pour le maquillage jusqu'au XIX$^{e}$ siècle.

Des recettes permettant de fabriquer de grandes quantités de ce pigment blanc sont données dans les textes anciens, ils sont basés sur la réaction chimique :

$$\text{Plomb} + CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{Acide acétique}]{} 2PbCO_3, Pb(OH)_2$$

Le succès de ce maquillage blanc à travers les âges s'explique par son pouvoir couvrant exceptionnel (peu de matière est nécessaire pour couvrir toutes les imperfections de la peau) et sa grande capacité de diffusion de la lumière (due à la taille des cristaux, voir remarque).
Pourtant dès l'Antiquité, les médecins décrivaient les effets secondaires des produits cosmétiques au plomb et les vilaines taches induites par les réactions entre la peau et les composés au plomb.

**Remarque**

La cosmétique n'est pas une discipline futile et le défi de fabriquer des produits inoffensifs mobilise, depuis 40 ans, les efforts de recherche de l'industrie contemporaine des cosmétiques.

L'efficacité des molécules physiologiquement actives des produits cosmétiques, dépend beaucoup (comme pour les médicaments) des ingrédients qui sont ajoutés pour en améliorer l'utilisation et la conservation. L'ajout de ces ingrédients, qui peuvent être très nombreux, s'appelle la **formulation.**

**La validation des propriétés effectives des produits cosmétiques** est aujourd'hui impérative, et nous allons voir que la recherche fait appel à la fois aux méthodes d'analyses physico-chimiques et à des tests biologiques équivalents à ceux utilisés pour les médicaments, ce qui correspond à une évolution vers la dermo-cosmétique.

***La science de la formulation*** est, depuis l'Antiquité, un art qui fait largement appel à la chimie, décrit dans de nombreux ouvrages à toutes les époques. C'est l'ensemble des opérations qui consistent à mélanger des substances variées, pour fabriquer un matériau homogène et stable présentant un certain nombre de propriétés.

# Les produits cosmétiques du XXIe siècle

## Le produit cosmétique : un médicament pour protéger la peau saine

Un produit cosmétique doit présenter une grande sécurité et ne pas avoir d'effets secondaires comme la céruse d'autrefois. Cela n'empêche pas que certains cosmétiques puissent entraîner des réactions allergiques anormales mais leur fréquence doit être la plus faible possible. Il faut donc faire très attention aux nombreuses recettes de préparation cosmétiques qui « fleurissent » sur Internet et qui souvent émanent de non-professionnels n'ayant pas les compétences et la culture scientifiques suffisantes (*Fig. 2*).

***Remarque***

Cosmétiques et médicaments ont des vocations différentes : un cosmétique ne peut pas ou ne doit pas traiter une maladie de la peau : c'est le champ d'action des médicaments, mais cette définition n'empêche pas qu'une même molécule puisse être utilisée dans les deux cas.

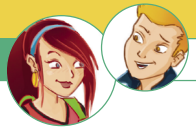


**Figure 2**

Les dangers des maquillages « home made ».

## Les différents types de cosmétiques

Comme autrefois, les cosmétiques sont toujours classés en deux catégories, les cosmétiques de soins et ceux d'embellissement (*Tab. 1*).

Les enjeux sociaux et économiques du marché sont importants : même dans les pays en voie de développement, la priorité pour une femme sera, après avoir nourri son enfant, la parure et la protection de sa peau du dessèchement provoqué par le Soleil et l'environnement.

### Les cosmétiques d'embellissement

Ils colorent les cils, les lèvres et la peau. Ils peuvent aussi camoufler un problème dermatologique, nous n'en parlerons pas dans ce chapitre, ils sont décrits dans de nombreuses revues et des articles.

### Les cosmétiques de soin

Les cosmétiques de soin pénètrent à travers la peau et ont des effets biologiques.

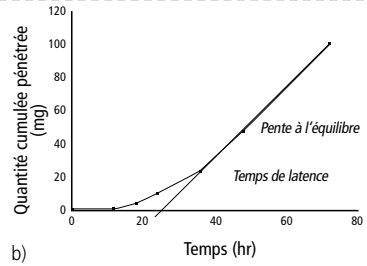
Ce passage à travers la peau est maintenant prouvé et suivi par des méthodes d'analyses pharmacologiques comme **la micro-dialyse** (*Fig. 3*).

***La micro-dialyse :*** technique qui grâce à une petite sonde permet de mesurer la concentration de la molécule recherchée pour étudier la pénétration en profondeur des produits sur des cellules de soutien responsables de l'élasticité de la peau dans le derme, ou sur des cellules de stockage de graisse dans les couches les plus profondes de la peau (pour les crèmes anti-cellulite).

**Tableau 1** **Les principales catégories de cosmétiques.**[2]

| |
|---|
| Crèmes, émulsions, lotions, gels, huiles pour la peau |
| Masques de beauté |
| Fonds de teint (liquides, pâtes, poudres) |
| Poudres pour maquillage |
| Poudres à appliquer après le bain |
| Poudres pour l'hygiène corporelle et autres poudres |
| Savons de toilette, savons déodorants et autres savons |
| Parfums, eaux de toilette et eaux de Cologne |
| Préparations pour le bain et la douche |
| Dépilatoires |
| Déodorants et anti-sudoraux |
| Produits de soin capillaire |
| Teintures capillaires et décolorants |
| Produits pour l'ondulation, le défrisage et la fixation |
| Produits de mise en plis |
| Produits de nettoyage (lotions, poudres, shampoings) |
| Produits d'entretien pour la chevelure |
| Produits de coiffage (lotions, laques, brillantine) |
| Produits pour le rasage (savons, mousses, lotions et autres produits) |
| Produits de maquillage et démaquillage |
| Produits destinés à être appliqués sur les lèvres |
| Produits pour soins dentaires et buccaux |
| Produits pour soin et maquillage des ongles |
| Produits pour soins intimes externes |
| Produits solaires |
| Produits de bronzage sans soleil |
| Produits permettant de blanchir la peau |
| Produits antirides |

a)




b)

**Figure 3**

Mesure de la pénétration d'un actif cosmétique.
a) Dispositif de micro-dialyse.
b) Évolution de la quantité d'actif qui a pénétré en fonction du temps.

2. Philippe Humbert, « Chimie, dermo-cosmétique et beauté », EDP Sciences, 2016, p. 43.

***Le derme*** est l'une des trois couches de la peau : l'épiderme en surface, l'hypoderme qui constitue la couche profonde et le derme qui se situe entre les deux et qui contient le collagène.

L'image en **microscopie électronique** des fibres de collagène du derme réalisée sur des petits prélèvements de peau (biopsie) ou sur des modèles de peau reconstruite permet d'étudier les effets biologiques (*Figs. 4* et *5*).

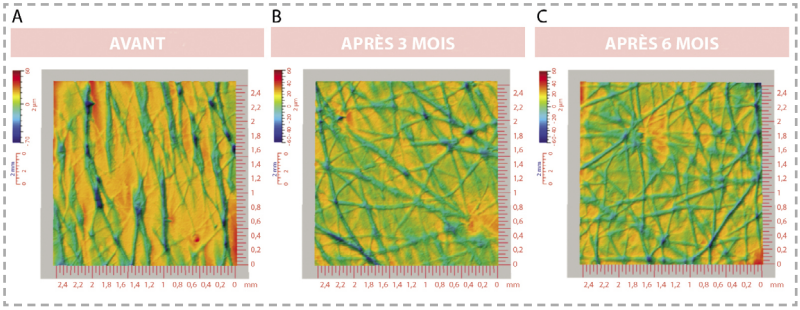



**Figure 4**

Effet d'une molécule active sur la reconstitution des fibres de collagène (en vert) du derme.

***Le collagène :*** protéine responsable de la cohésion des tissus.

**L'hydratation** est évaluée par la mesure de la conductivité électrique à partir d'un appareil appelé **cornéomètre** (*Fig. 5*).

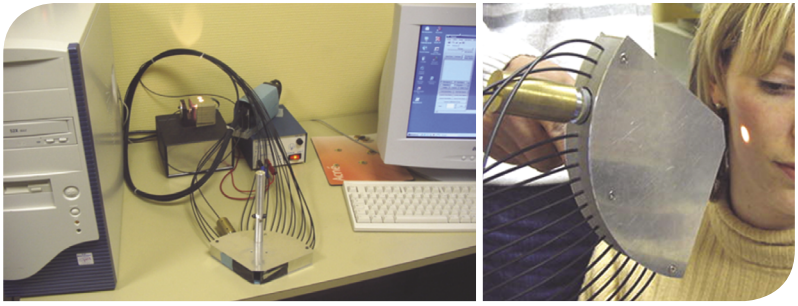
**La mesure de l'éclat du teint** est réalisée à partir de la mesure de la quantité de lumière réfléchie par la peau, à l'aide d'un appareil composé d'un microscope, d'un système d'éclairage, d'une caméra et de fibres optiques reparties sur un arc de cercle (*Fig. 6*).

**Figure 5**

Cornéomètre : dispositif pour mesurer l'hydratation de la peau.

**Figure 6**

Système de mesure de l'éclat du teint.



**L'analyse de la micro-circulation sanguine** (*Fig. 7*) est nécessaire pour évaluer les effets de photo-protection, les effets anti-couperose

ou encore l'éclat du teint. Elle est explorée par la technique de **vidéocapillaroscopie** (*Fig. 8*).

**Les propriétés mécaniques** de la peau (notamment l'élasticité) sont évaluées sur des échantillons de peau reconstruite, par la mesure des forces développées dans une peau maintenue sous tension (*Fig. 9*).

Il existe des dispositifs d'évaluation *in vivo* et *in vitro* (*Fig. 10*) qui permettent d'étudier la traversée de la peau par une molécule qui peut parfois diffuser dans le corps.

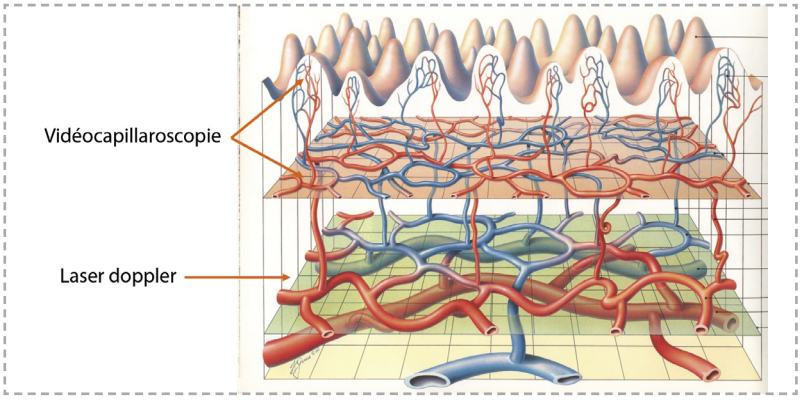



**Figure 7**

Évaluation de la microcirculation sanguine : méthodes d'analyse en fonction de la profondeur des micro-vaisseaux étudiés.

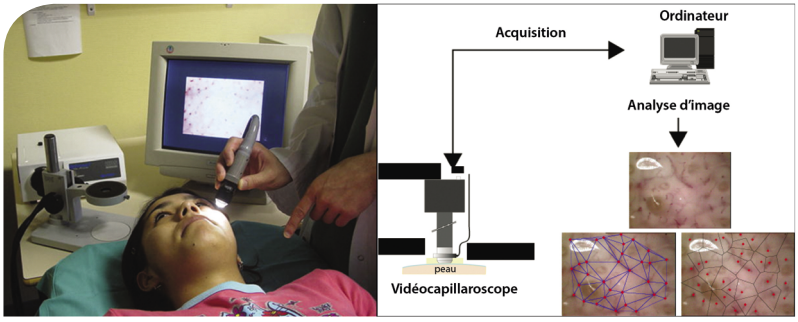



**Figure 8**

La technique de vidéocapillaroscopie et son principe de fonctionnement.

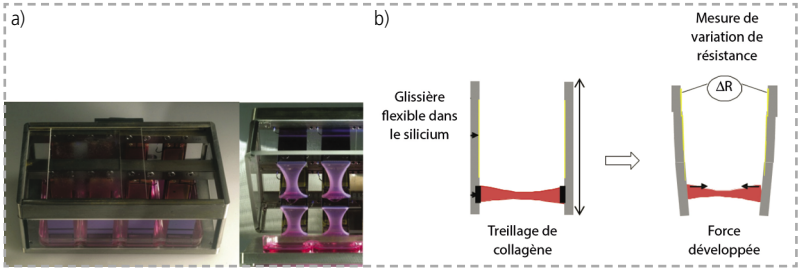
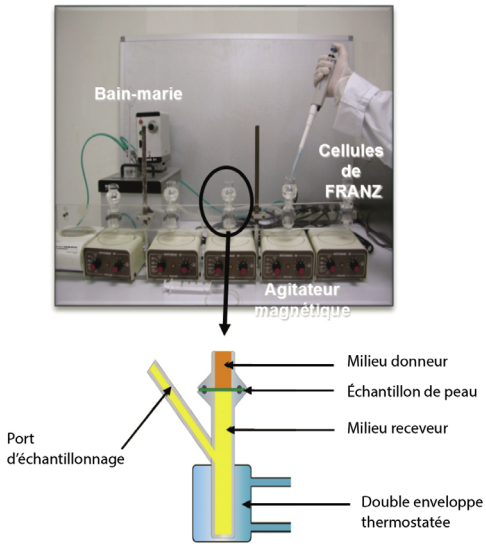



**Figure 9**

Mesure des forces développées dans un échantillon de peau reconstituée maintenue sous tension. a) Dispositif ; b) Principe de fonctionnement.

**Figure 10**

Dispositif d'évaluation du passage transcutané et principe de fonctionnement.




**Remarque**

La mesure du passage transcutané est importante. Le produit actif doit pénétrer mais pas les autres ingrédients comme les conservateurs (qui peuvent être toxiques tels les parabènes) qui sont ajoutés dans un tube de crème pour empêcher l'oxydation, la dégradation, le développement des microbes…

Par exemple, une crème à base de caféine utilisée pour traiter la cellulite est appliquée sur les cuisses, les fesses ou le ventre et trois heures plus tard, c'est l'équivalent de cinq tasses de café qui passent dans le sang ! Il est indispensable d'en avoir connaissance (*Fig. 11*).

**Figure 11**

Crème anti-cellulite et café.

Cependant, l'activité d'un cosmétique doit être prouvée par des méthodes scientifiques rigoureuses. Il ne suffit pas de tester un produit avec un avant et un après.

Il faut comparer les résultats avec un placebo constitué par les ingrédients du cosmétique sans les molécules dont on revendique l'activité.

Les effets doivent être durables pour démontrer que le principe actif agit sur les fonctions biologiques.

Ce travail ne peut être réalisé que par des scientifiques dans des laboratoires de recherches modernes bien équipés.

Les principaux effets des produits de soins cosmétiques sont résumés dans le *tableau 2*.

**Remarque**

Comme pour les médicaments, la formulation, c'est-à-dire la nature des ingrédients au sein desquels se trouve la molécule active, joue un rôle important sur le transport et l'activité de la molécule active et sur la non-toxicité du cosmétique.

**Tableau 2** **Classification des principes actifs de cosmétiques.**

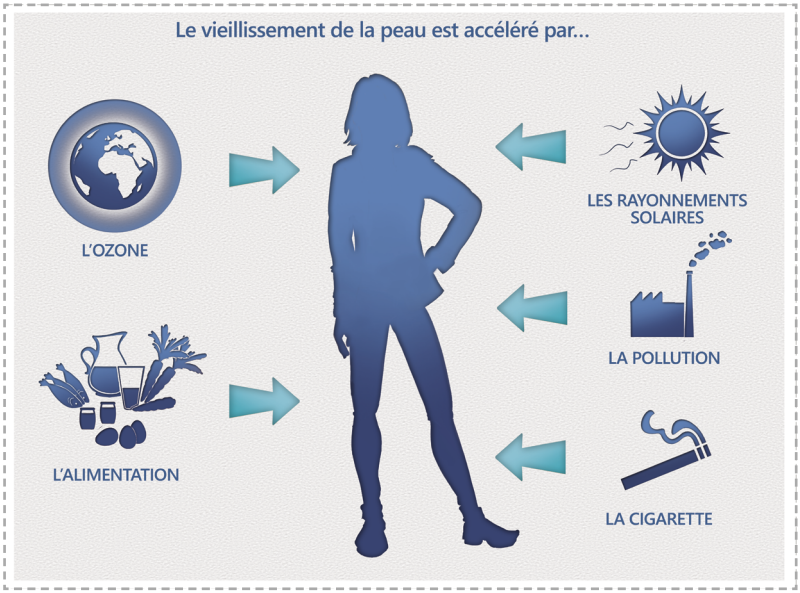
| | | |
|---|---|---|
| **Les hydratants** | Humectants et rétenteurs d'eau (glycérol, acide hyaluronique)<br>Régulateurs de la perte insensible en eau (PIE) (réparation de la barrière cutanée) : sphingolipides, céramides, lécithine<br>Occlusifs (huile, baume, beurre de karité) | |
| **Les anti-âges** | Les antirides (AHA, rétinol, peptides de type matrikine)<br>Régénérants du tissu (diterpènes, triterpènes, isoflavone)<br>Anti-poches (complexes multi-actifs)<br>Anti-cernes (idem)<br>Raffermissants du visage | Lissants du relief cutané<br>Relaxants (musculaires, nerveux)<br>Tenseurs (protéine végétale, marine)<br>Améliorateurs de l'éclat du teint<br>Nutritifs, vitamines |
| **Les aminicissants** | Lipolytiques<br>Inhibiteurs de la lipogénèse<br>Inhibiteurs de la différentiation adipocytaire | Anti-cellulite<br>Actifs drainants<br>Raffermissants du corps |
| **Les blanchissants** | Éclaircisseurs du teint<br>Inhibition du bronzage | Réduction des taches de sénescence |
| **Les régulateurs de la séborrhée** | Anti-peau à tendance acnéique<br>Matifiants | Stimulateurs de la séborrhée sur peau ultra-sèche |
| **Les antioxydants** | Anti-radicalaires | Anti-irritants/anti-inflammatoires |
| **Les actifs capillaires** | Stimulateurs de la croissance du cheveu<br>Anti-chute | Anti-repousse-poils |

# Les produits de soins cosmétiques pour une peau jeune

Une peau même très jeune, doit être hydratée et protégée des effets négatifs de l'environnement (*Fig. 12*).

**Figure 12**

Les facteurs environnementaux nocifs pour la peau.




La pollution ajoute ses effets à ceux du Soleil, pour favoriser même chez les sujets jeunes, le photo-vieillissement de la peau. La peau doit être notamment protégée de la pollution par les métaux lourds et par l'ozone.

Elle doit aussi être préservée de l'infection : dans le cas de la photo-protection, c'est aussi le rôle des cosmétiques d'augmenter les défenses immunitaires.

## Les cosmétiques d'hydratation

Une peau déshydratée perd non seulement sa souplesse et ses propriétés mécaniques mais aussi ses propriétés de défenses (*Fig. 13*).

Notre corps est constitué de 70 % d'eau et la peau lui sert de barrière pour l'empêcher de la perdre : il faut limiter la perte par notre peau à un demi-litre par jour, sans tenir compte de celle qui s'évacue par la sueur, les urines et la respiration (*Fig. 13*).

**Pour empêcher la déshydratation, il faut avant tout boire.**

**Remarque**

Il faut savoir que plus la peau se dessèche, moins elle aime l'eau : prendre un bain la déshydrate davantage !

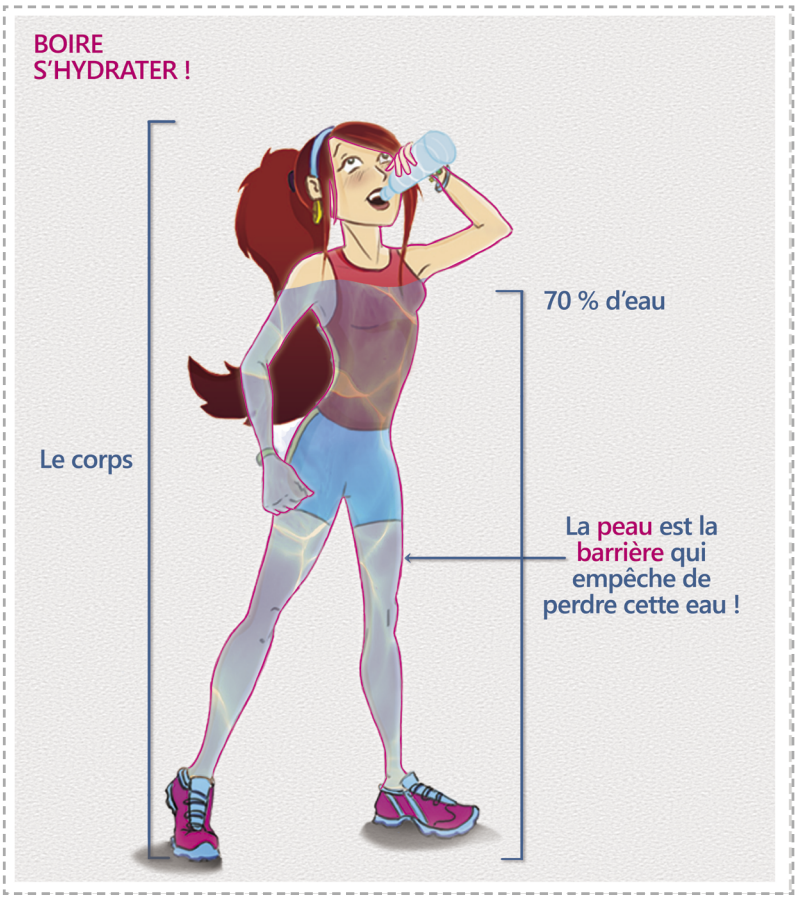



**Figure 13**

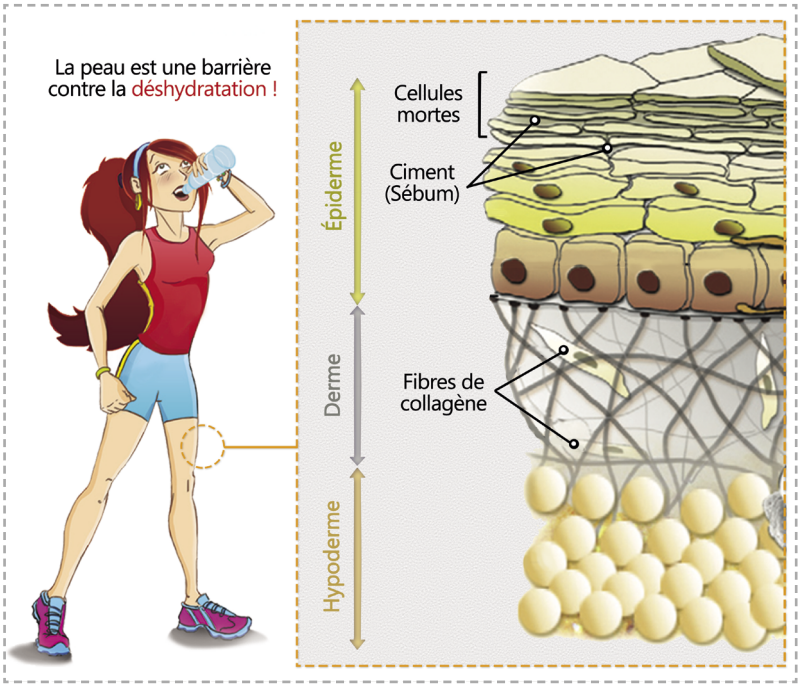
L'hydratation passe par l'eau.

## Comment conserver l'effet barrière à la déshydratation de la peau ?

Les acteurs de l'hydratation cutanée sont représentés sur la *figure 14*.

**Figure 14**

Les acteurs de l'effet barrière de déshydratation de la peau.




La couche la plus **externe de la peau et de l'épiderme** est naturellement recouverte d'une **émulsion** composée de cellules mortes reliées entre elles par un **ciment** riche en molécules organiques huileuses (**lipides**) et en substances hydrophiles. Parmi les lipides, les **céramides** jouent un rôle important.

Par ailleurs, l'épiderme **fabrique** naturellement en continu **un ensemble de molécules capables de garder l'eau**. Cet ensemble est constitué d'acides aminés, de sucres, d'acides organiques, d'ions et d'**urée**.

Les produits actifs pour l'hydratation de la peau sont donc :

- les huiles ou les céramides qui aident à reconstituer la barrière cutanée ;
- l'acide hyaluronique constituant naturel du derme qui agit comme une éponge pour stocker l'eau ;
- le collagène protéine des tissus de soutien.

**Des molécules récemment découvertes permettent de « booster » l'action des aquaporines.**

### Remarque

On sait maintenant que l'urée joue un rôle très important dans l'hydratation de la peau.
Depuis quelques années, on sait aussi que le transport de l'eau s'effectue *via* des molécules de protéines particulières hydrophiles : les **aquaporines**.

## Comment choisir un soin hydratant ?

**La formulation** est très importante pour l'efficacité des soins hydratants : l'eau seule n'est pas intéressante, l'huile seule non plus : ce sont les **émulsions** qui sont efficaces.

### L'aspect naturel et la chimie verte

Toutes les molécules synthétisées par l'homme existent dans la nature, encore faut-il savoir où les trouver, et comment les extraire pour les utiliser dans de bonnes conditions.
C'est un très long travail de recherche qui s'est beaucoup développé dans l'industrie cosmétique ces dernières années.
En cosmétique, on aime s'inspirer de la nature et il faut sans cesse se demander « comment la chimie peut-elle toujours mieux mimer et valoriser la nature ? ».

La matière première d'origine animale a disparu de l'industrie cosmétique et l'utilisation de ressources issues de la pétrochimie devient de plus en plus rare. Il reste **la « chimie verte »**[3], c'est-à-dire sourcer et transformer de manière durable la matière pour développer des produits cosmétiques. Cette démarche est mise en œuvre et va durer.
Avant de travailler sur les plantes, tout commence par une enquête sur le terrain (souvent digne d'une aventure d'Indiana Jones !) (*Fig. 15*) pour choisir les plantes potentiellement intéressantes et puiser, dans la biodiversité végétale, les ingrédients cosmétiques d'aujourd'hui et de demain grâce aux connaissances traditionnelles et aux découvertes modernes.

**Remarque**

Il n'y a pas de différence entre les propriétés d'une molécule synthétisée par l'homme et cette même molécule extraite d'une substance naturelle végétale, animale ou minérale.

**Figure 15**

L'utilisation des plantes en cosmétique est un long parcours.

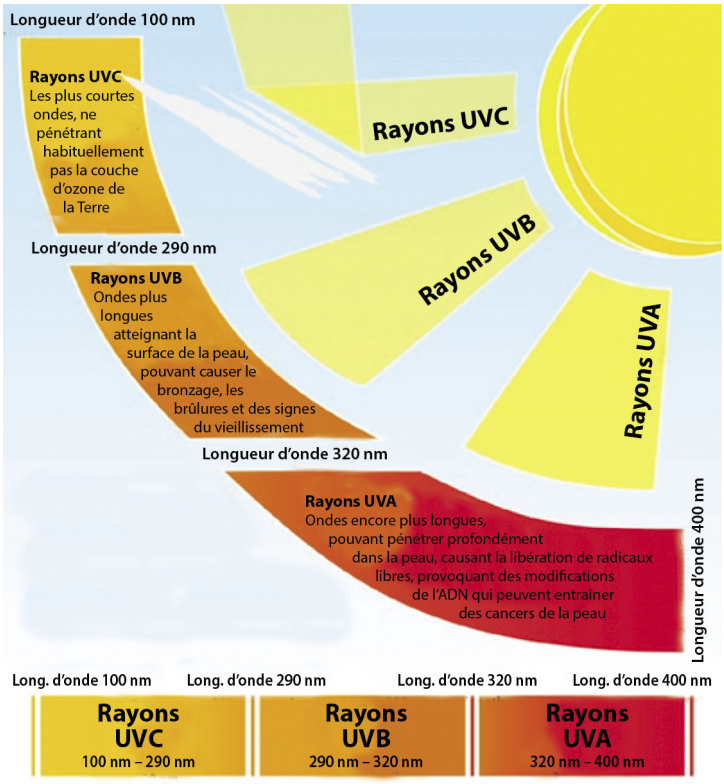
3. « Chimie et expertise – Sécurité des biens et des personnes », EDP Sciences, 2014, p. 56.

## La protection solaire

On sait maintenant que le plus important facteur d'agression de la peau est le rayonnement solaire ultra-violet. Ce sont les UVA et les UVB (*Fig. 16*) qui sont dangereux car fort heureusement les autres rayonnements UV du Soleil ne pénètrent pas l'atmosphère.

**Figure 16**

Les effets du rayonnement solaire sur la peau.




Ils entraînent des dégâts cutanés pour les UVB au niveau de l'épiderme et pour les UVA au niveau du derme (*Fig. 17*). Ce sont les UVA les plus dangereux.

Ils vont occasionner pour les uns ou pour les autres soit des inflammations de la peau (coup de soleil classique), soit des vieillissements prématurés de la peau.

Les UV sont distribués pour moitié en été et pour l'autre moitié, les trois saisons restantes.
Il faut donc aussi se protéger des UV au printemps, en automne et en hiver.
S'exposer aux UV, ce n'est pas seulement se mettre sur une chaise longue à la plage ou au bord d'une piscine, c'est aussi être exposé au Soleil dans la rue, ou travailler à côté d'une fenêtre, voire même être toute la journée face à un ordinateur qui lui même diffuse des UV.

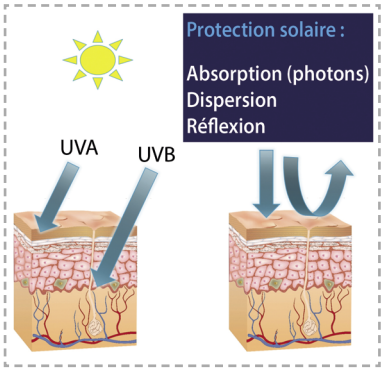



**Figure 17**

Action des UVA et des UVB sur la peau effet protecteur des filtres solaires.

## Les acteurs chimiques et les cibles : le stress oxydant de la peau

Le stress oxydant est la situation dans laquelle la peau n'est plus capable de faire face à toutes les agressions liées aux espèces réactives de l'oxygène (*Fig. 18*).

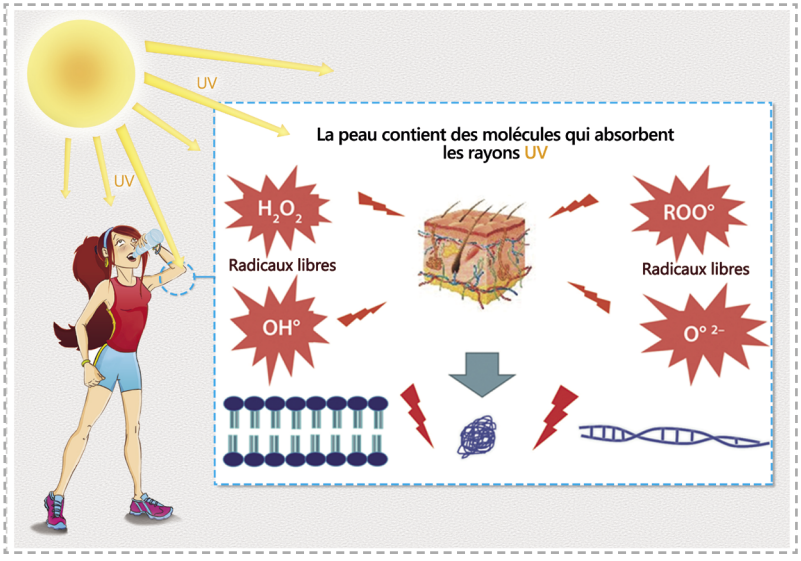



**Figure 18**

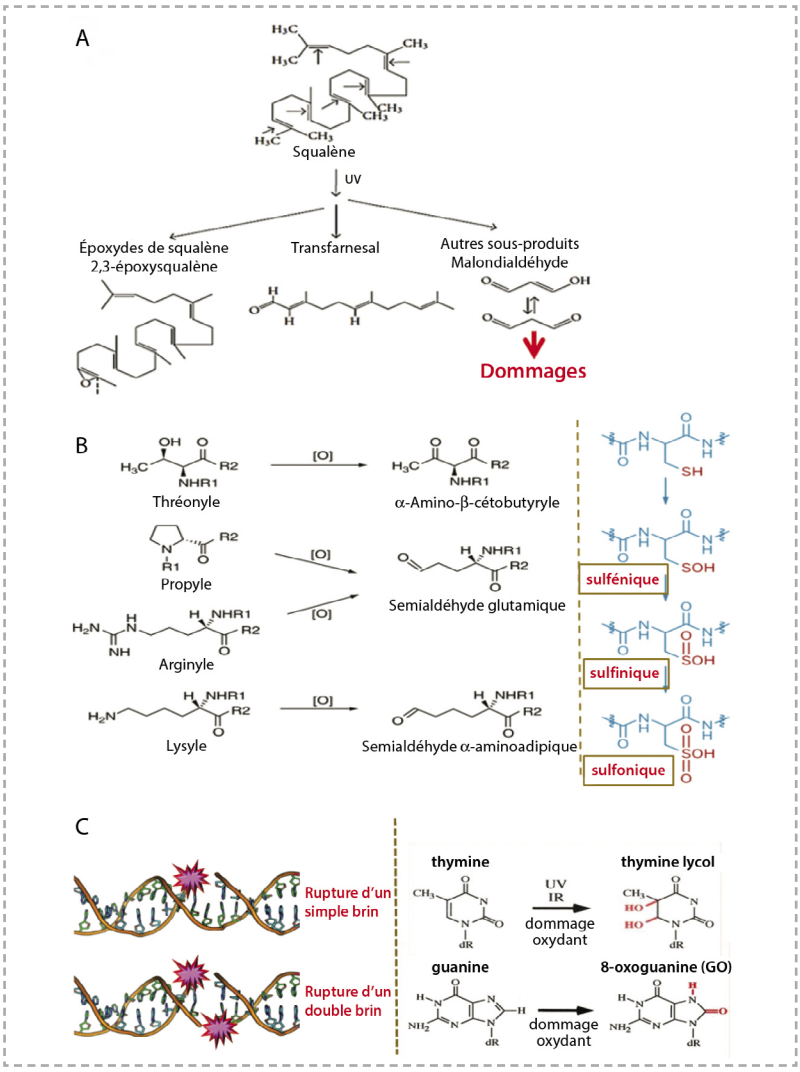
Les radicaux libres sont des espèces réactives de l'oxygène qui agressent la peau et qui lorsqu'elles sont trop nombreuses sont à l'origine de dégâts cellulaires et génétiques.

Dans la peau, des molécules-relais appelées **chromophores** absorbent les UV et utilisent leur énergie pour s'activer chimiquement et former des espèces réactives très oxydantes, les radicaux libres.

Les radicaux libres sont des molécules qui possèdent un électron célibataire, qui pour s'associer à un autre électron va essayer de réagir avec tout et très rapidement. Le radical hydroxyle OH° est un véritable missile qui attaque la plupart des cellules biologiques.

**Figure 19**

Les effets des radicaux libres sur la molécule d'ADN.




**Le squalène** qui est un lipide du **sébum,** couche protectrice de la peau, peut être peroxydé rapidement donc détruit sous l'effet des UV ou de l'ozone.

Ce processus entraîne non seulement la perte de la protection de surface, mais en plus les petites molécules qui sont produites lors de ces oxydations sont elles-mêmes très réactives.
C'est toute la barrière des protéines de la peau qui est ainsi touchée et qui conduit parfois à la mort cellulaire ou à des processus inflammatoires.

La molécule d'ADN (*Fig. 19C*) est aussi endommagée. Les radicaux libres sont capables de casser la double hélice soit en simple brin, soit en double brin, entraînant ainsi des perturbations dans l'organisation du matériel génétique.

Même si la nature nous a doté de systèmes de réparation de l'ADN efficaces et fidèles, les cassures sont introduites de façon aléatoire et des risques de réparation ou de recombinaisons parfois aberrantes peuvent être favorables à l'évolution vers un cancer quand l'oxydation est fortement augmentée sur une peau régulièrement exposée au soleil.

**Remarque**

Le derme plus que l'épiderme qui se renouvelle en permanence, est affecté par l'oxydation car le collagène du derme ne se renouvelle pas et accumule ainsi les dégâts.

## La protection solaire

Plusieurs stratégies doivent être combinées pour se protéger efficacement.

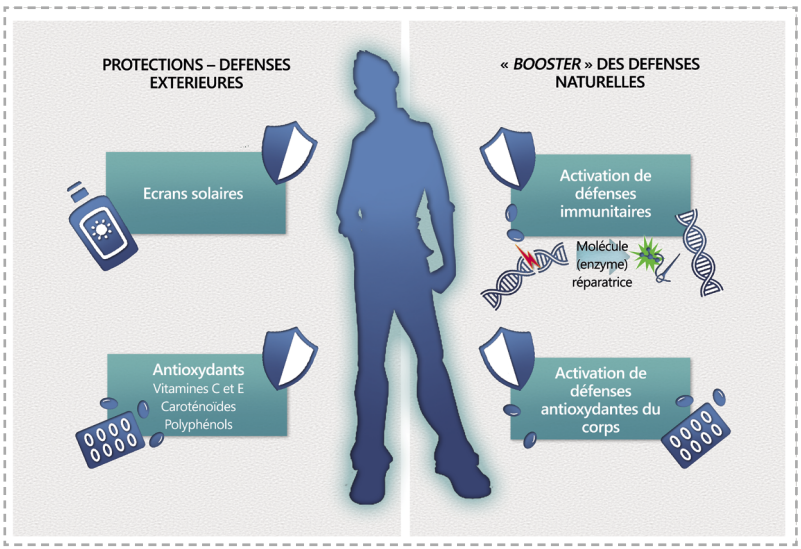



**Figure 20**

Se protéger contre le stress oxydant.

**Les filtres solaires** (*Fig. 20*) arrêtent les rayonnements UV grâce à des molécules appliquées sur la peau qui absorbent, dispersent ou réfléchissent ces rayonnements.

Ces molécules doivent être stables à la lumière et avoir un très large spectre d'absorption des UVA et UVB.

Les écrans minéraux à base d'oxyde de titane ($TiO_2$) ou d'oxyde de Zinc ($ZnO_2$) ont un large spectre et sont les plus efficaces (*Tab. 3*).

**Tableau 3** **Propriétés des filtres solaires minéraux.**

| Écrans minéraux | Avantages | Inconvénients |
|---|---|---|
| Dioxyde titane<br>Oxyde de zinc | Large spectre<br>Photo-stables<br>Peu allergisants<br>Non toxiques<br>Efficaces<br>Absorption systémique nulle | Indice réfraction élevé<br>Aspect peu esthétique<br>Sensation granuleuse<br>Texture |

**Remarque**

Pour une efficacité maximum, il est nécessaire d'associer les filtres et la formulation des produits solaires n'est pas simple.

Il est regrettable que le public soit peu enclin à les utiliser en raison de leur apparence un peu blanche.
Il existe des molécules organiques spécifiques de la protection UVB, d'autres spécifiques de la protection UVA et d'autres encore qui ont un spectre beaucoup plus large (*Tab. 4*).

**Tableau 4** **Propriétés des filtres solaires organiques.**

| Spectre absorption | Classe chimique | Exemples |
|---|---|---|
| UVB | Aminobenzoate | Octyl diméthyl PABA |
| | Cinnamates | Octyl méthoxycinnamate<br>2-Éthoxyéthyl p-méthoxycinnamate |
| | Salicylates | Octyl Salicylate, Homosalate |
| | Autres familles | Octocrylène<br>Acide Sulphonique Phénylbenzimidazole |
| UVA | Dérivés dibenzoylmetnane | Avobenzone ou Butyl Méthoxydibenzoylméthane |
| | Camphre | Térephtalydène Dicamphor Sulfonic |
| | Anthranylates | Menthyl Anthranylate |
| UVA/UVB (large) | Benzophénones | Oxybenzone<br>Sulisobenzone |
| | Dérivés triazine | Bisoctrizole ou Trétrabutylméthylphénol méthylène-bis Benzotriazolyl<br>Bémotrizinol ou Bis-éthyloxyphénol Méthoxyphéyltriazine<br>Éthythexyltriazone |

**Les antioxydants** sont ajoutés soit pour piéger de façon directe les radicaux libres soit de façon indirecte, leurs produits d'oxydation.

Il existe aussi des formules solaires ou de soins quotidiens contenant **des molécules d'enzymes capables de réparer l'ADN** ou les protéines, cependant pour être efficaces, ces formules doivent impérativement pénétrer là où il faut et quand il faut, ce qui reste très complexe.

Il existe de nombreuses sortes d'antioxydants (*Fig. 21*).

Enfin, on peut prévenir le stress oxydant en utilisant **des produits qui stimulent les propres défenses de la peau**, ce qui requiert d'être au plus proche dans le temps, de l'induction du stress.

**Figure 21**

Quelques antioxydants connus.

### Remarque

Attention les antioxydants ne sont pas toujours la panacée : ils peuvent avoir des effets contraires s'ils sont surdosés, certains sont réactifs à la lumière et les laboratoires doivent tenir compte de ces données pour concevoir des produits efficaces et sûrs.

# La sécurité des produits cosmétiques

Deux domaines de recherche sont stratégiques pour les cosmétiques :

- l'absorption cutanée afin qu'ils soient effectivement efficaces ;
- la tolérance locale qui couvre plusieurs domaines importants (irritation cutanée et oculaire, corrosion, inconfort et picotement, allergie, photo-toxicité, etc.) pour la sécurité des consommateurs.

Pour évaluer et prévenir le risque après application topique sur la peau, il est essentiel de connaître le plus tôt possible le passage transcutané, chez l'homme, des nouveaux principes actifs et des ingrédients qui les accompagnent.

Pour cela, il a fallu d'une part, anticiper les aspirations sociétales et supprimer l'expérimentation animale, d'autre part modéliser la peau humaine pour mieux comprendre tout en tenant compte de la diversité des peaux. 40 ans d'efforts ont été nécessaires pour supprimer l'expérimentation animale.
Dans un premier temps, la peau humaine provenant de résidus opératoires de chirurgie esthétique s'est avéré un modèle intéressant mais insuffisant. Près de 15 ans de recherches ont été nécessaires pour mettre au point un modèle pertinent de peau reconstruite pour l'évaluation *in vivo* chez l'homme. Ce n'est qu'en 1998 que l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économique) a reconnu cette méthode.

Les modèles de peaux humaines reconstruites, et en particulier ceux contenant un épiderme et un derme vivants, ont permis de comprendre les effets du rayonnement solaire.
En 20 ans, deux résultats majeurs ont été obtenus avec ces outils qui n'auraient pas été obtenus par la simple recherche clinique :

- la très forte contribution des UVA longs aux désordres biologiques en lien avec l'immunosuppression et l'inflammation ;
- la lumière du jour dans les différentes régions du monde est surtout riche en UVA et selon les latitudes, les doses d'UVA reçues peuvent varier d'un facteur de 1 à 6.

**Il est donc essentiel de se protéger avec des produits de jour couvrant surtout le spectre UVA et non UVB, comme c'était le cas il y a encore quelques années.**

***L'hyperpigmentation*** désigne des dépôts de mélanine excessifs dans la peau.

C'est aussi grâce aux peaux reconstruites que l'on a compris les phénomènes d'hyperpigmentation, ce qui a permis de concevoir des technologies efficaces pour en empêcher la formation.

Compte tenu de la diversité physico-chimique des matières premières utilisées, d'origine naturelles ou non, **la tolérance aux produits et ingrédients** a mobilisé et mobilise encore les efforts de l'industrie cosmétique pour mettre au point des protocoles d'évaluation prédictive des cosmétiques, et ces méthodes doivent être validées par les autorités européennes.

| Historique des méthodes validées et reconnues par les instances européennes |
|---|
| **1998** Corrosion cutanée<br>**1999** Adsorption percutanée<br>**2001** Corrosion chimique<br>**2002** Photo-toxicité<br>**2008** Irritation cutanée, irritation oculaire, sensibilisation, reprotoxicité, génotoxicité/mutagénicité, toxicocinétique, carcinogénicité, toxicité chronique, toxicité à doses répétées.<br><br>**2002** OCDE : irritation/corrosion<br>**2004** OCDE : skin corrosion<br>**2010** OCDE : skin irritation |

Beaucoup de progrès ont été réalisés depuis 30 ans mais tout n'est pas réglé.
Une seule méthode ne suffit pas pour tester la très grande diversité physico-chimique des ingrédients et des produits.

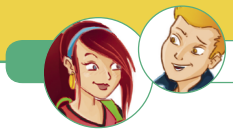
Ces méthodes font appel à des études cliniques, des données de physico-chimie, de pénétration cutanée, des résultats de tests *in vitro*, mais aussi, pour les produits finis, aux résultats de cosméto-vigilance qui remontent du marché.

Les recherches évaluent la toxicité et les effets biologiques néfastes sur plusieurs types cellulaires sur des modèles et les comparent avec l'exposition réelle chez l'homme.

**Par ailleurs il y a dans le cadre du règlement européen REACH, des dispositions spécifiques aux produits cosmétiques** : « cosmetic products safety reports ».
Pour chaque produit, il faut constituer des dossiers très complets, ce qui occasionne un travail considérable pour les grands groupes qui mettent plusieurs milliers de formules par an sur le marché.

**Remarque**

Il reste encore de grands défis qui ne sont pas spécifiques à l'industrie cosmétique, connaître les effets des faibles doses répétées sur le court et le long terme.



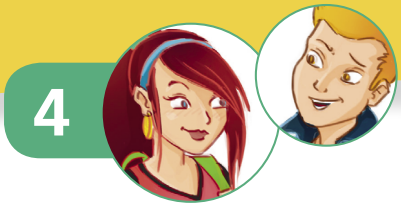
## Conclusion

Parmi les grands défis scientifiques auxquels doit faire face l'industrie cosmétique figure la prédiction des effets secondaires graves pouvant conduire au retrait du produit du marché, comme cela est arrivé dans le domaine du médicament ces vingt dernières années.

Grâce à une recherche de haut niveau, développée dans le cadre de partenariats scientifiques internationaux, les effets secondaires graves sont exceptionnellement rares. Il s'agit en général d'effets inattendus, non détectables par les processus classiques d'évaluation et de sécurité. C'est arrivé en 2013, un agent dépigmentant utilisé en Asie a déclenché des traces de dépigmentation irréversibles sur plus de 14 000 consommateurs (1 %).

On saurait maintenant détecter préventivement de tels effets lors du développement d'une nouvelle molécule. Cela démontre qu'il ne faut pas jouer aux apprentis sorciers, la cosmétique est une science complexe. Comme les médicaments, les produits cosmétiques ont des effets biologiques, non seulement les molécules actives, mais aussi les ingrédients qui y sont ajoutés pour améliorer leur facilité d'utilisation.

La formulation d'un produit cosmétique (nature et quantité des constituants du mélange) est une affaire de professionnel, les fabriquer soi-même, comme cela devient la mode, peut conduire à des effets secondaires très néfastes. C'est aussi vrai avec des composants d'origine naturelle, car les molécules actives sont les mêmes et ont les mêmes propriétés physico-chimiques et biologiques (bonnes ou mauvaises), qu'elles soient synthétisées par l'homme ou extraites de substances naturelles.



4 PARTIE

# LA CHIMIE DU VÉGÉTAL

# AU REVOIR LE PÉTROLE, BONJOUR LES PLANTES

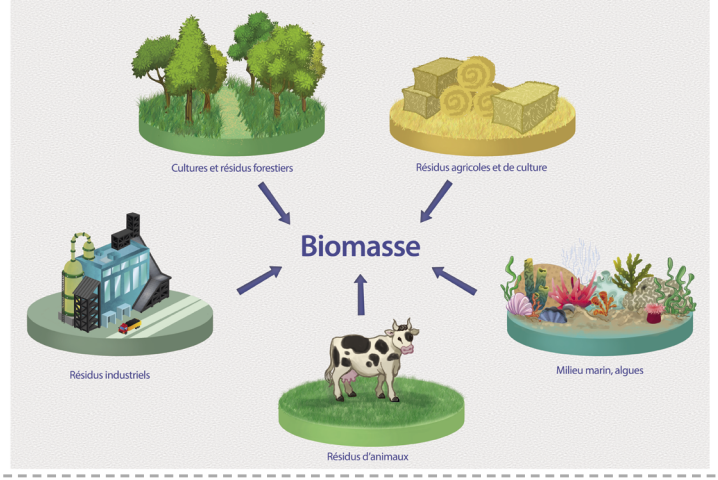
Tous les produits dont nous avons besoin ou presque – les textiles, les voitures, les jouets, les ordinateurs, etc. – viennent de l'industrie chimique. Elle transforme le pétrole ou le charbon en matériaux – les fameuses matières plastiques dont on ne peut plus se passer.

Cependant, le pétrole est si utilisé comme carburant qu'il s'épuise ! Il est toujours extrait des sous-sols, mais une grande partie en a déjà été consommée. C'est pourquoi, il faut trouver d'autres solutions.

Les plantes – les arbres, les buissons, les forêts, mais aussi toutes les « mauvaises herbes », tous les déchets végétaux et toutes les plantes agricoles, etc. – vont y contribuer. Elles pourront remplacer le pétrole grâce à la chimie qui peut prélever les molécules nécessaires à la fabrication des matières plastiques. On appelle « biomasse » ces quantités de végétaux (*Fig. 1*).

**Figure 1**

Une grande diversité de matières premières renouvelables.



# Première approche : les produits végétaux comme matière première pour « chimie classique »

On a réalisé l'intérêt de la chimie à partir des végétaux dès le début du XX$^{e}$ siècle. En 1902, une raffinerie à base de bois, en Allemagne, a produit de l'acide acétique, du méthanol et de l'acétone.

Les premiers biocarburants ont été fabriqués vers 1920-1930. C'est une improbable collaboration entre le roi de l'automobile – Henry Ford – et un fils d'esclaves, Washington Carver, qui a réussi cette performance (Encart « Des pionniers de la chimie végétale : Carver et Fond »). La stratégie consiste en la scission des molécules, issues de la nature, en monoxyde de carbone et hydrogène, suivie de leur recombinaison pour aboutir aux hydrocarbures par les procédés classiques. On poursuit ensuite par les mêmes transformations chimiques que celles qu'on applique au charbon ou au pétrole.

***Biocarburants :*** essence synthétique faite à partir de plantes.

## Des pionniers de la chimie du végétal : Carver et Ford

Carver, prénommé Georges Washington, était fils d'esclaves du Missouri. Il réussit un cursus classique dans un lycée du Kansas et devient le premier étudiant noir de l'Iowa State Agricultural College. Dirigeant le département d'agriculture de l'Institut de Tuskegee à partir de 1896, il a convaincu des fermiers du Sud d'abandonner la culture du coton pour celle de l'arachide. Ses succès en ont fait l'un des scientifiques américains les plus respectés de l'époque. Il a marqué de nombreuses inventions dans le domaine défini, aujourd'hui, comme « celui des biotechnologies alimentaires ».

Comme Carver, Ford était passionné par le potentiel de nouvelles cultures, comme l'arachide ou le soja pour la production de matière plastique, de peinture ou de carburant. Il était convaincu que le monde aurait besoin, un jour, d'un substitut au pétrole et soutenait la production d'éthanol à cette fin. En 1942, il exposera une voiture à carrosserie légère faite à partir de soja.

Ford et Carver entretinrent une correspondance depuis 1934 et conçurent une grande admiration l'un pour l'autre, qui les conduisit à collaborer. Carver installa, en 1942, un laboratoire pour étudier la fabrication de substituts de caoutchouc à partir de patates douces, de fleurs ou de mauvaises herbes. Carver mourut en 1943 et Ford en 1947 mais la collaboration entre l'entreprise Ford et l'Institut de Tuskegee continuait encore en l'an 2000 !

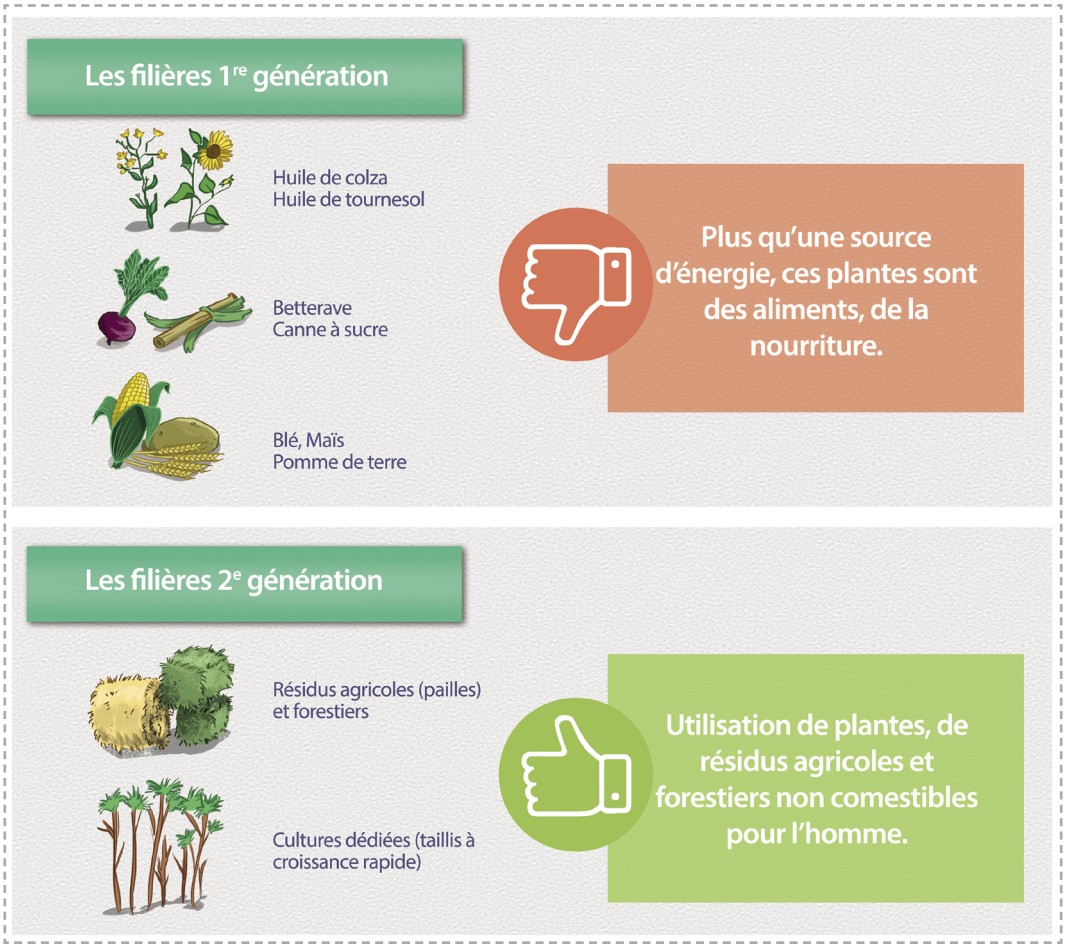
Toutes les plantes, bien entendu, ne sont pas équivalentes. La chimie doit faire son choix (voir Encart « Que veut dire “biosourcé” »).

Figure 2

Une équation complexe !

## La filière de première génération

La filière classique (dite filière de première génération) part des plantes cultivées, comme les oléagineux (qui font l’huile de colza, de tournesol, de palme ou de soja), les plantes sucrières comme la betterave, la canne à sucre, les céréales (blé, maïs) ou encore les féculents comme la pomme de terre. Ces plantes sont riches et contiennent des substances chimiques que la chimie sait transformer. Cependant, du fait que nous les consommions, il y a le problème de concurrence pour l’approvisionnement.




## La filière de deuxième génération

La tendance aujourd'hui, la filière de deuxième génération, consiste à réserver pour l'exploitation chimique, les plantes forestières, les résidus agricoles (pailles) ou les taillis à croissance rapide sur des terres moins favorables à l'agriculture.

**Figure 3**

Choix entre les deux filières.

**Remarque**

Une usine fabriquant du Rilsan a été ouverte près de Marseille en 1955 mais elle a fermé dans les années 1970 ; elle n'a pas résisté à la concurrence du Nylon.

## L'exemple de l'huile de ricin

L'huile de ricin est connue depuis l'Antiquité comme un produit cosmétique efficace. Elle est aujourd'hui produite en abondance au Brésil et en Inde par pressage des graines de l'arbre du même nom.
Après quelques opérations chimiques habituelles (craquage, distillation, hydrolyse, etc.), on a pu isoler de cette huile l'« acide 11–aminoundécanoïque ». Ce produit donne le polymère (Encart « Polymère ») polyamide 11 (dont le nom commercial est Rilsan). Le Rilsan donne des fibres textiles légères et confortables.

**Figure 4**

Le Rilsan.

Il a depuis été utilisé comme plastique technique (matériau) et est, aujourd'hui, produit par le chimiste Arkema. La production mondiale est de 500 000 t/an. Il est transformé en intermédiaires chimiques (esters, acides ou alcools gras, glycérine) et sert à la fabrication de produits d'usage – des « tensio–actifs » (pour produits détergents), des lubrifiants (pour la mécanique), des résines (pour les peintures), etc.

### Que veut dire « biosourcé » ?

Les produits chimiques que nous fournit l'industrie sont fabriqués à partir des matières fossiles (en général le pétrole). On découvre aujourd'hui que l'on peut aussi les fabriquer en transformant de la matière organique (des plantes) – c'est-à-dire des composants du monde de la biologie. On qualifie ces objets de « biosourcés ».
Les recherches actuelles dans les laboratoires ou chez les industriels veulent développer les produits biosourcés en étudiant de nouveaux procédés de transformation chimique de la matière.

## Polymère

Les polymères comptent parmi les objets chimiques les plus intéressants. Ce sont des enchaînements de molécules organiques (en général) qui forment un assemblage géant, communément sous forme de chaîne mais il peut avoir des structures plus complexes.

Les polymères sont souvent naturels – à la base de la matière vivante, constituant par exemple le bois, les enveloppes des organes des êtres vivants ou encore les protéines ou l'ADN. Depuis le XX$^{e}$ siècle, ils sont aussi produits en laboratoire et sont indispensables dans nos objets quotidiens : textile (le nylon était une des premières applications), les matériaux pour les voitures ou les habitations, pour les coques de téléphones ou ordinateurs, les emballages, etc.

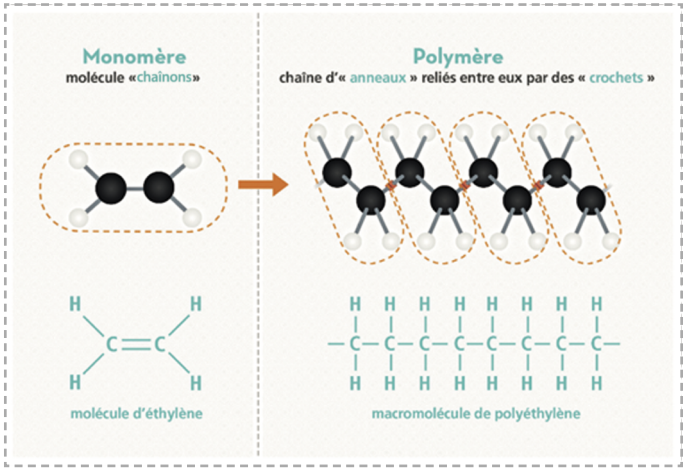



**Figure 5**

Du monomère au polymère.

Le Rilsan n'est qu'un exemple de produit qui vient de l'application des procédés bien connus de l'industrie chimique aux produits extraits des plantes. Sa synthèse repose sur les connaissances chimiques maîtrisées et donne d'excellents résultats (*Fig. 6*).

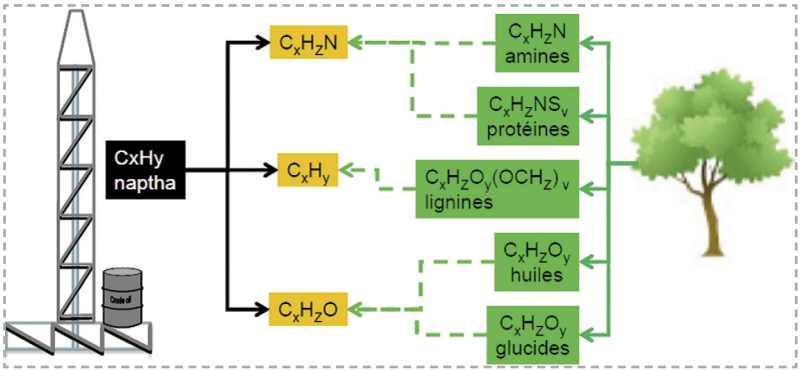



**Figure 6**

La biomasse peut fournir la base des filières de la chimie associée aujourd'hui au pétrole.

D'autres procédés que les procédés chimiques classiques peuvent être performants. La nature, qui transforme naturellement la biomasse (qui à la base est de la matière vivante) nous donne des idées en ce sens – comme la fermentation.

# *La fermentation, un procédé traditionnel toujours d'actualité*

Les plantes sont constituées chimiquement de molécules formées des mêmes atomes que les matières fossiles – et souvent aussi des mêmes molécules (combinaisons d'atomes). En revanche, contrairement à celles-ci, elles sont très proches du vivant et se transforment par réactions avec d'autres organismes vivants – en particulier avec des microorganismes, bactéries, champignons, levures…

Un exemple typique est celui de **la fermentation** (Encart « Où sont les ferments ») que les hommes, depuis l'Antiquité ont cherché – avec succès – à utiliser.

## Où sont les ferments ?

Ils sont partout, dans l'air, les sols et les eaux.
Une pomme délaissée se transforme rapidement. Surtout si elle est mûre, elle sera recouverte de ferments pour conduire à une pourriture ou à une maturation alcoolique.
Ces ferments se multiplient vite et dépendent du milieu sur lequel ils croissent.
Pour faire lever une pâte, on lui rajoute un peu de pâte de la veille… les ferments contiennent les « bonnes » enzymes (leurs composants actifs). Aujourd'hui, on sait aussi, grâce à la biologie, cultiver des ferments pour un usage particulier.

**Figure 7**

La fermentation, une transformation pour le meilleur ou pour le pire !

La fermentation est connue comme responsable de transformations – heureuses ou malheureuses – des aliments. C'est la fabrication du vin à partir des jus sucrés du raisin mais aussi sa transformation en vinaigre si la conservation n'est pas adaptée.

Les ferments sont des microorganismes naturels – bactéries, levures ou champignons – dont les enzymes transforment la matière vivante.

Il y a un grand nombre de réactions de fermentation. La **transformation alcoolique**, qui donne le vin, est la plus connue et donne un bel exemple de ce qui est possible. Elle effectue la transformation du sucre en alcool dans des conditions où la « chimie classique » ne saurait pas le faire.

Depuis Pasteur (il y a 150 ans), on a compris cette transformation qui a permis un développement considérable des techniques de fermentation par la culture et la sélection des levures.

On a pu appliquer ces méthodes à d'autres situations. Le domaine de l'alimentation dans un premier temps (le vin, la bière mais aussi la choucroute !), puis par la suite, d'autres domaines l'ont systématiquement utilisée comme le traitement des déchets par méthanisation (production de gaz méthane à partir des déchets).

## Les biotechnologies

La fermentation est un procédé pionnier. Autrefois, la fermentation alcoolique était mise en œuvre au moyen d'alambic (appareil destiné à transformer les fruits en alcool) dans les villes et villages. Aujourd'hui, ce sont des industries qui l'utilisent, et pas seulement pour faire des aliments ou des boissons.

Toute une industrie chimique lourde s'appuie sur la fermentation et sur d'autres procédés biologiques qui comme elle, mettent des bactéries en œuvre. On appelle ces procédés **les biotechnologies**.

### L'acide succinique

La **filière de l'acide succinique** illustre cette stratégie. Produit grâce à la fermentation du glucose (un composant des plantes sucrières comme la betterave) par une levure résistante en milieu acide, l'acide succinique est à l'origine de très nombreuses applications (*Fig. 8*).

Après transformations chimiques, on le trouve à l'origine de toutes sortes de produits à savoir des arômes alimentaires aux plastiques, à des solvants industriels et même à des produits pharmaceutiques (*Fig. 9*).

**Figure 8**

Biosynthèse et utilisation de l'acide succinique.

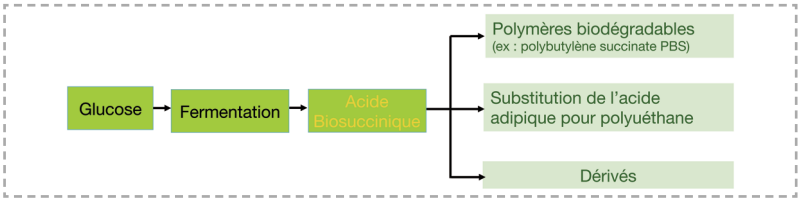


**Figure 9**

Les plastiques végétaux Gaïalene®, faits de résines végétales thermoplastiques.

## Bactéries et levures

Les agents responsables des fermentations sont des enzymes. Mais celles-ci sont portées, selon les applications, soit par des bactéries soit par des levures. Une levure possède un noyau cellulaire qui contient ses chromosomes et donc son ADN. C'est un organisme vivant. Elle ne doit pas être confondue avec la levure chimique, qui n'est qu'un mélange de produits chimiques simples et ne permet pas la fermentation. Cependant, la levure chimique fait « lever » la pâte pour le pain – propriété qui est à l'origine de son nom.

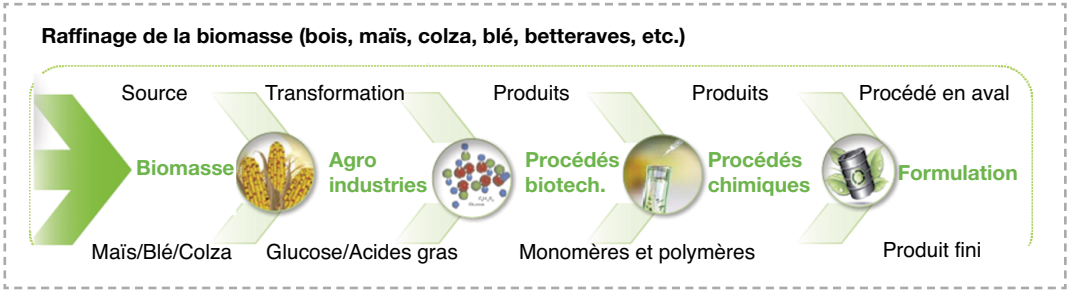
### La bioraffinerie

Pour que l'industrie transforme les végétaux, il faut d'abord qu'elle les choisisse et les récolte. Ensuite elle leur applique les opérations chimiques « classiques » d'où sortent les « produits intermédiaires » (glucose, acides gras).

La biotechnologie (comme la fermentation) intervient après dans l'élaboration de produits plus sophistiqués. En fin de parcours, ces produits sont transformés par des opérations chimiques et formulés pour **la fabrication des produits finaux**. Toutes les opérations chimiques et biotechnologiques sont effectuées sur un même site : c'est le concept de **bioraffinerie** (*Fig. 10*).

**Figure 10**

Raffinage de la biomasse.



# Le développement moderne des biotechnologies

La fermentation est un procédé naturel : des enzymes naturelles catalysent des réactions naturelles, et on en utilise les produits. Au XXe siècle, on a généralisé ceci en utilisant des **enzymes nouvelles spécialement conçues** pour les transformations chimiques qu'on souhaite leur faire réaliser.

L'industrie sait maintenant, les modifier et les ajuster : c'est le point de départ des biotechnologies.

## Un exemple : la filière de l'isosorbitol

Cette molécule est un dérivé du glucose (obtenu par hydrogénation). Ce dernier peut être produit à partir de maïs ou de blé, des céréales qui sont constituées à 70 % d'amidon – un polymère naturel bien connu. Des enzymes sont utilisées pour le couper, le transformer et fournir du glucose qui lui-même (il faut le faire réagir avec de l'hydrogène) donne du sorbitol, transformable en isosorbitol puis en isosorbide (*Fig. 11*). Cette molécule est produite maintenant à 1 000 tonnes/jour.

Et dans quel but ?

**Remarque**

C'est depuis la découverte de la manipulation du génome (ADN) que l'on sait fabriquer des enzymes nouvelles (deuxième moitié du XXe siècle).

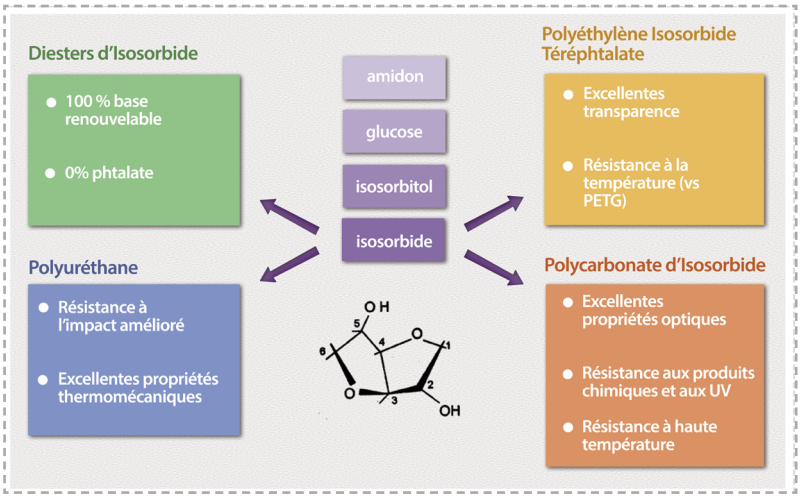



**Figure 11**

Synthèse du sorbitol et de ses utilisations industrielles.

Grâce à l'isosorbitol, on peut par exemple modifier les polymères et leur donner une propriété qui leur manque :

- introduit dans le polyéthylène téréphtalate, il en fait un matériau résistant à la température et commode à employer ;
- en le faisant réagir avec des acides gras, il donne un produit que l'on peut substituer au bisphénol A, plastifiant (additif qui permet l'utilisation des polymères) que l'on veut interdire pour raisons de mauvais effets possibles sur la santé.

La *figure 11* résume en partie les applications de ce produit intéressant.

## Les biocarburants

On utilise presque tout le pétrole (90 %) que l'on extrait de la terre pour faire fonctionner les voitures ou autres moteurs et produire de l'électricité, c'est-à-dire comme carburant. On utilise le reste, par transformations chimiques, pour fabriquer les matériaux des objets de la vie quotidienne.

Mais comment répondre à ces besoins essentiels de carburant et de matériaux dans les années qui viennent, puisque le pétrole s'épuise ?

La chimie du végétal pourrait bien être la solution (*Tab. 1*). Les recherches sur les biocarburants, menées activement, donnent déjà des résultats.

***Biocarburant :*** carburants produits à partir de la matière végétale.

**Tableau 1 Les principales options de biocarburants possibles.**

| | |
|---|---|
| **Les biocarburants liquides** | Éthanol/ETBE (éthyle *t*–butyléther), huile végétale pure.<br>Biodiesel : esters d'acides gras.<br>Huile végétale hydrogénée (NexBtl…).<br>Biodiesel à partir de la biomasse transformée en liquide, autres produits (bio butanol, DES…). |
| **Les biocarburants gazeux** | Biogaz.<br>DME (diméthyléther) $H_2$. |

### La filière de génération 1

On décompose la biomasse en gaz carbonique et hydrogène en utilisant la température et de bons catalyseurs comme on le fait pour traiter le pétrole. Cela a permis de fabriquer de l'éthanol, que l'on utilise dans les moteurs à essence, et du biodiesel. Cependant, cette voie est pratiquement abandonnée parce qu'elle est en concurrence avec les besoins alimentaires (elle utilise les mêmes surfaces agricoles) et elle est coûteuse car fortement consommatrice d'énergie.

***Catalyseur :*** substance qui facilite une réaction chimique et qui n'est pas détruite par celle-ci.

### La filière de génération 2

Elle exploite, plutôt que les productions agricoles nobles, les déchets végétaux ou les plantes non intéressantes pour l'alimentation.

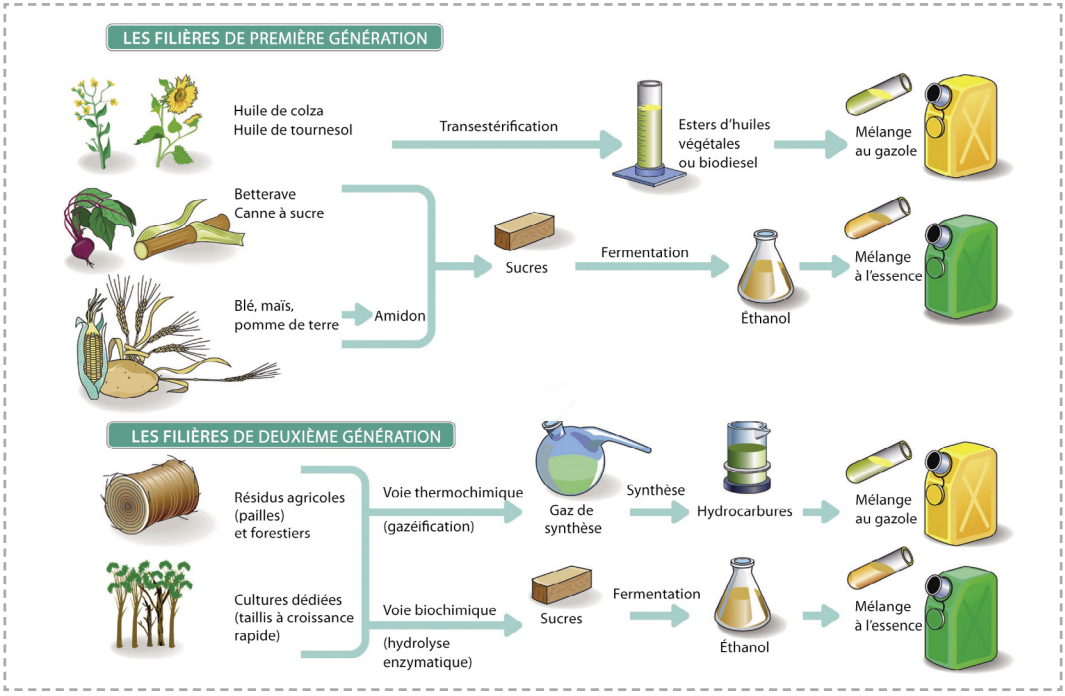
Deux voies sont possibles :

- **la voie thermochimique**, même procédé que la filière 1 mais avec de nouveaux catalyseurs ;
- **la voie biochimique**, beaucoup plus prometteuse, transforme d'abord la biomasse en sucres à l'aide d'enzymes puis, par fermentation, en éthanol – le carburant recherché.

**Figure 12**

Les stratégies de production de biocarburants.

Ces productions sont mises en œuvre dans des **bioraffineries.** Le diagramme des opérations est représenté sur la *figure 12*.




## L'ingénierie métabolique

La biologie a fait récemment des progrès qui changent tout pour la chimie du végétal. Par l'utilisation simultanée de la génétique et de l'informatique – on peut concevoir et mettre en œuvre des modifications

des microorganismes pour leur faire produire de nouvelles enzymes. On fait en sorte que ces enzymes effectuent les transformations chimiques dont on a besoin.

Des voies nouvelles sont ainsi ouvertes aux chimistes pour transformer la matière végétale et l'utiliser à la place du pétrole. Ces techniques sont déjà en exploitation. De nouvelles variantes sont en développement (*Fig. 13*).

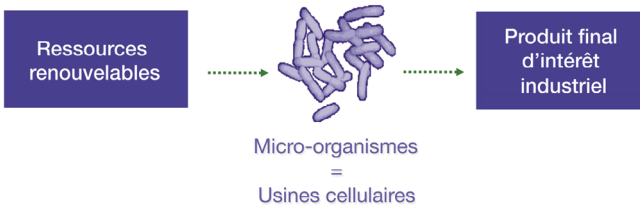



**Figure 13**

L'ingénierie métabolique conçoit les microorganismes qu'il lui faut et les synthétise.

Mais quels sont ces progrès de la biologie qui changent la chimie du végétal ?

Il s'agit de l'**ingénierie métabolique**, la démarche par laquelle on met au point des microorganismes spécifiques au produit que l'on veut fabriquer.

Le système à considérer est :

- la matière végétale choisie (la ressource de départ) ;
- des catalyseurs enzymatiques ;
- des nutriments (les aliments pour les microorganismes) – oxygène, gaz carbonique, etc.

## Les différentes étapes de l'ingénierie métabolique

1. À l'aide de logiciels appropriés, on modélise les molécules nécessaires aux réactions chimiques à mettre en œuvre entre les différents composants du système.

2. On définit les meilleurs catalyseurs (enzymes) pour orienter ces réactions chimiques dans le sens souhaité.

3. On construit, par génie génétique, ces nouveaux catalyseurs enzymatiques.

4. La phase expérimentale peut alors commencer : les nouveaux microorganismes munis des catalyseurs voulus peuvent être développés et le procédé peut être testé expérimentalement.

***Génie génétique :*** processus qui modifie la constitution génétique d'un organisme en supprimant ou en introduisant de l'ADN.

À chaque étape, on modélise les flux – ce qui est consommé par le système, ce qui est produit. Ceci permet d'ajuster les concentrations des composants chimiques ou la nature des catalyseurs. La phase expérimentale teste le système dans sa nouvelle composition en fermenteur. En répétant l'opération, on met au point le microorganisme final. C'est lui qui joue le rôle d'usine cellulaire pour remplir la tâche assignée.

Dans son état actuel, l'ingénierie métabolique présente déjà beaucoup d'applications et fournit des matières biosourcées. Cela concerne la **fabrication industrielle d'intermédiaires chimiques** ou de polymères à partir de matières premières végétales. Il s'agit par exemple de polymères rencontrés dans la vie quotidienne comme des fibres textiles modernes (acide polylactique par Cargill, isobutanol et 1–3 propane diol par Dupont, etc.).

**Ce sont d'importants tonnages et enjeux pour une nouvelle industrie qui sont concernés**. Et cette approche n'en est encore qu'à ses débuts !

### Pourquoi l'expression « ingénierie métabolique » ?

Le métabolisme d'un organisme, c'est l'ensemble des molécules qu'il contient et des réactions chimiques qui les transforment et les font évoluer. Le réacteur biotechnologique, par ce terme « métabolique », est assimilé à un organe vivant : il contient les microorganismes, avec leur matériel membranaire, et leur machinerie de protéines et d'acides nucléiques.
Le mot ingénierie renvoie à la capacité des ingénieurs de construire quelque chose. Or produire les enzymes voulus, définir les concentrations des nutriments, ajuster le microorganisme lui-même par la génétique… c'est bien « construire le système ».

### Les microalgues : pourquoi faire ?

La biomasse « aqueuse » – celle des eaux marines ou celle des eaux douces, circulantes ou stagnantes (*Fig. 14*) est souvent négligée. Pourtant elle présente une biologie originale que l'on doit pouvoir mettre à profit et, actuellement, fait l'objet de travaux et d'installations de pilotes industriels optimistes.

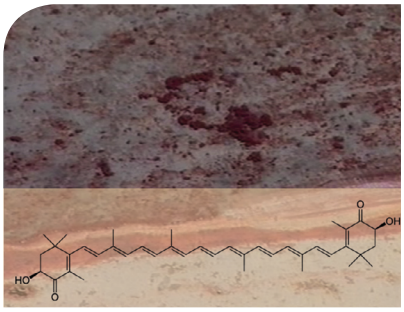


**Figure 14**

Exemples d'algues développées dans les eaux stagnantes.

Il existe un très grand nombre – peut être 30 000 – d'espèces de microalgues. Leur biodiversité est quasiment inconnue et seule une trentaine d'espèces sont actuellement étudiées.

Ce sont des **organismes « photosynthétiques »** – c'est-à-dire qu'ils tirent l'énergie utile à leur existence du rayonnement solaire capté et apprivoisé par leur nature biologique. Des nutriments sont de plus essentiels. Le $CO_2$ atmosphérique est absorbé par les algues et produit la biomasse que nous allons vouloir utiliser. La quantité de lumière détermine la productivité (*Fig. 15*).

**Figure 15**

Principe des transformations chimiques réalisées par les microalgues.

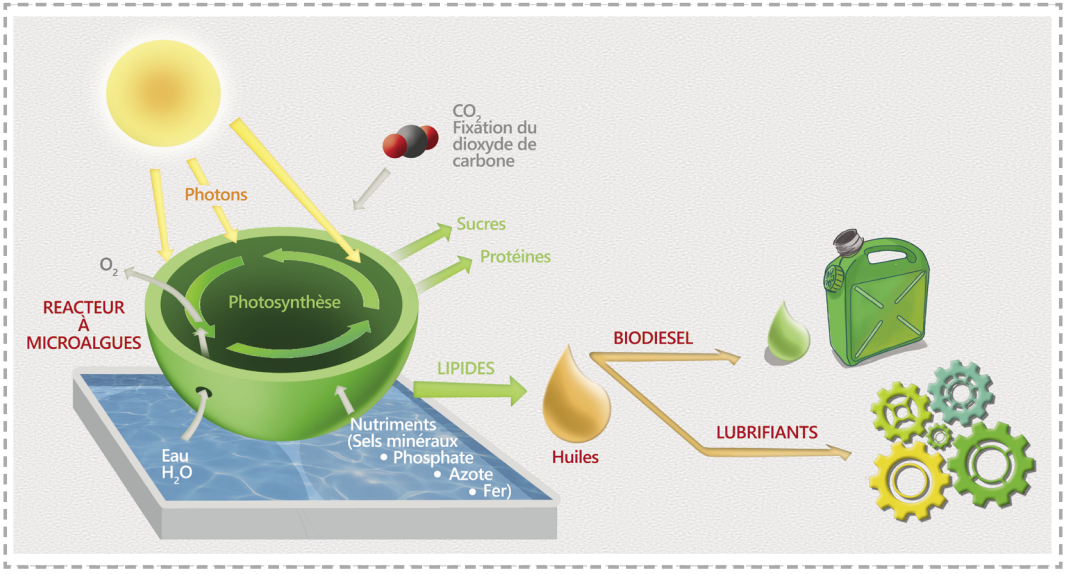


**Figure 16**

Exemple de réacteurs de production de substances par les microalgues.

On peut modéliser le fonctionnement des transformations chimiques en variant les paramètres définissant :

- les propriétés du milieu réactif ;
- les quantité des nutriments ;
- l'intensité lumineuse.

Ceci permet de concevoir et de construire ensuite des réacteurs industriels, dont un exemple est présenté sur la *figure 16*.

Certains des produits élaborés à partir des microalgues sont déjà employés – en cosmétologie et en pharmacie.

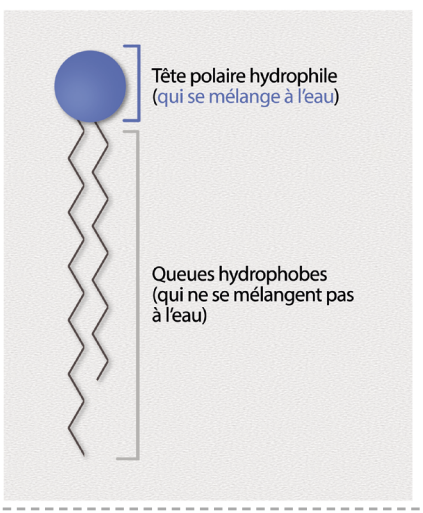
On a également fabriqué des lipides (*Fig. 17*). Ce sont les constituants des membranes cellulaires et les composants de certaines huiles. Ils présentent un intérêt industriel important dans les produits de la vie quotidienne et dans les biocarburants.

On a aussi recueilli de l'hydrogène et des hydrocarbures qui après transformation peuvent être utilisés comme carburants.

L'exploration des possibilités des microalgues ne fait que commencer et les réalisations ne s'arrêteront sûrement pas là !

**Figure 17**

Les lipides sont des molécules à longue chaîne et tête polaire.



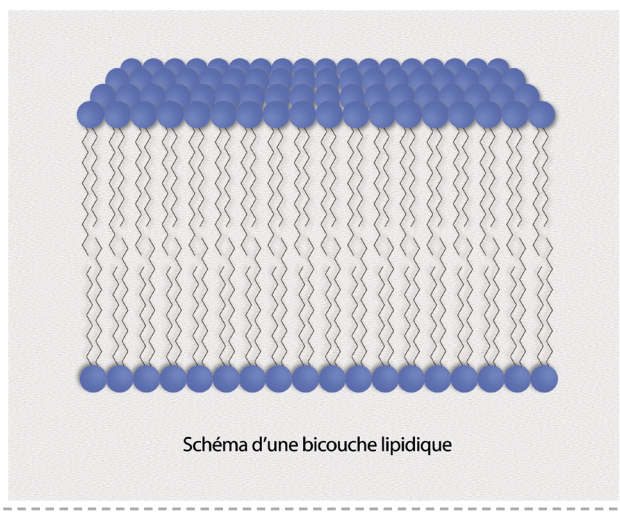



Schéma d'une bicouche lipidique

# Conclusion

**La chimie du végétal est jeune, pleine d'avenir et se base sur deux idées de bon sens.**
**1. La première est que la matière végétale n'est pas chimiquement fondamentalement différente du pétrole – puisque celui-ci en est issu, même si c'est après des centaines de millions d'années.**
**2. La deuxième est que les transformations naturelles dont la biologie nous montre tant d'exemples doivent nous inspirer ; le plus significatif est celui de la fermentation.**

**Les perspectives d'applications à moyen terme vont dans de nombreuses directions (biocarburants, chimie « biosourcée ») et sont de bonnes réponses aux questions que l'on se pose sur la lutte contre la pollution et sur la préservation des ressources naturelles.**
**Les perspectives à long terme de la chimie du végétal sont directement impliquées par les formidables progrès de la biologie – biologie moléculaire et génie génétique. On sait déjà, actuellement, construire des microorganismes adaptés à la tâche chimique qu'on leur demande. Ces capacités vont considérablement s'améliorer avec le développement de la biologie de synthèse, appuyée sur les progrès de la génétique mais aussi sur ceux de l'informatique.**
**Les « usines cellulaires » que constituent nos réacteurs biotechnologiques d'aujourd'hui vont devenir de plus en plus spécifiques et performantes.**

# LES SUBSTANCES NATURELLES : LE MAGASIN DU BON DIEU

## *L'homme s'intéresse aux plantes puis à la chimie*

Les plantes nous fournissent tout ce dont on a besoin pour vivre. L'alimentation d'abord, mais bien d'autres choses encore.

Depuis que l'homme a domestiqué le feu, il brûle des plantes pour se chauffer et améliore son alimentation en faisant cuire sa nourriture. Aujourd'hui, les plantes nous fournissent aussi des parfums pour les célébrations de toutes natures, des médicaments, des cosmétiques pour entretenir notre apparence, des épices pour agrémenter la vie, etc.

**Figure 1**

Les plantes, substances naturelles

L'humanité au cours de tant de siècles de ses pratiques a accumulé une quantité considérable de connaissances sur les plantes. Elle a – différemment dans chaque partie du monde – appris à reconnaître celles qui soignent, celles qui ont une odeur agréable, celles qui ont bon goût etc. Ces connaissances ont été transmises de génération en génération.

À l'époque moderne, on s'intéresse à ces connaissances pour pouvoir en tirer de nouveaux produits qui viendront enrichir notre vie quotidienne et nos activités commerciales. Des scientifiques se rendent dans les pays lointains, souvent des pays tropicaux car la nature y est particulièrement riche. À partir des informations recueillies sur place, ils sélectionnent les plantes les plus prometteuses. Ces scientifiques font ainsi ce que l'on appelle l'**ethnobotanique**. La *figure 2* rappelle que dans cette démarche, avant de travailler sur les plantes, il faut travailler avec les personnes. On puise dans la biodiversité végétale, les ingrédients utiles grâce aux connaissances traditionnelles.

L'ethnobotanique ce n'est pas uniquement la rencontre avec des guérisseurs chamans, c'est aussi toute une démarche d'études de laboratoire. Le travail des chimistes intervient ensuite dans l'identification, pour chaque plante, de la molécule qui lui donne sa propriété. Éventuellement, on la produira ensuite en quantité importante pour les usages commerciaux.

**Figure 2**

Ethnobotanique.
Des chercheurs vont dans les pays tropicaux et se font expliquer quelles plantes sont intéressantes pour eux. Ils recueillent des échantillons pour les tester dans leur laboratoire (cf. « Chimie, dermo-cosmétique et beauté », EDP Sciences, 2017, p. 67).

# Première étape du chimiste : identifier le « principe » actif

## Identifier la molécule du principe actif

On sait que tout n'est que molécule : une propriété particulière de la plante vient donc d'une molécule qu'elle contient. C'est ce que l'on appelle son « principe actif ». Le chimiste sait séparer la plante en différentes parties – feuilles, écorce, graine, gousse, etc. – et observer celles qui possèdent la propriété recherchée.

**Figure 3**

Laboratoire de chimie d'autrefois avant l'informatique. Les différentes parties de la plante sont observées et séparées en composants moléculaires (cf. « La chimie et les sens », EDP Sciences, 2018, p. 97).

Ensuite, le chimiste applique les techniques éprouvées en laboratoire – on chauffe, on dissout, on cristallise, etc. Au bout d'un travail très long parfois marqué d'échecs, on isole en laboratoire (*Fig. 3*) la molécule responsable de la propriété intéressante de la plante : le « principe actif » a été isolé !

En répétant l'opération, on peut accumuler des quantités suffisantes de la molécule clef (le principe actif) pour pouvoir l'utiliser. On la conditionne et on la vend. C'est comme cela que sont produits beaucoup de médicaments ou de parfums, de cosmétiques ou d'arômes. La *figure 4* donne une série de médicaments faits par cette voie. Il s'agit souvent de médicaments anciens. Ils illustrent la variété des plantes exploitées.

## Origine végétale des médicaments

**Exemple des alcaloïdes**

– **Extrait de l'opium du pavot**
  en 1806 : Morphine
  en 1832 : Codéïne Cofenfan® (éther méthylique de la morphine, formule en 1881, hémi∑ en 1886)
– **Extrait des écorces du quinquina**
  Quinine : utilisée contre les fièvres (∑ en 1824) : **Quinimax®** antipaludéen
  Quinidine : utilisée contre les palpitations : **Serecor®** antiarhytmique
– **Extrait de la pervenche de Madagascar**
  Vinca-alcaloïdes : anticancéreux : Vinblastine **Velbe®**, Vinorelbine **Navelbine®**
– **Extrait de l'ergot de seigle :** Ergotamine **Séglor®** antimigraineux
– **Extrait de la belladone :** 1833 : **Atropine :** antispasmodique, anti-bradycardies

**Figure 4**

Des médicaments à l'origine végétale.

Quelques exemples :

### • La vanille

Les gousses de l'arbuste « vanille » fournissent un arôme qui a beaucoup de succès. Cela a été découvert au Mexique en 1520 par les Espagnols. On chauffe les gousses, et on les sèche pour développer l'arôme. Le principe actif est « la vanilline », une molécule représentée sur la *figure 5*. On sait extraire cette molécule, ce qui donne une poudre concentrée qui peut être conditionnée et se prête au transport et à la conservation. L'arôme « vanille » est devenu le plus utilisé au monde et se vend à 8 000 tonnes par an.

### • L'aframodial

La plante Aframomum Angustifolium (ou maniguette), que l'on trouve à Madagascar d'où elle est originaire et dans les régions sud-africaines. Elle a été sélectionnée par une démarche ethnobotanique (*Fig. 6*) à partir de sa réputation d'être bonne pour les soins de la peau. Son produit actif se trouve principalement dans ses fruits (le « longoza ») ou dans ses graines. L'aframodial, son nom commercial, est aujourd'hui à la base d'une ligne de cosmétiques « anti-âge ».

## Attention : formule chimique !

On présente dans ce chapitre un certain nombre de molécules par leur « **formule chimique** ». Ce n'est pas pour que le lecteur les retienne, ni même pour qu'il les comprenne en détail. C'est pour qu'il en réalise la diversité et la complexité.

La « **formule chimique** », telle que présentée sur la *figure 5* donne une représentation de la position des atomes de la molécule (ici la vanilline).

Mais elle est simplifiée : d'abord elle ne précise pas la nature de tous les atomes ; ceux qui sont « évidents » comme les atomes de carbone ou d'hydrogène du squelette de la molécule ne sont pas nommés. Ensuite, la formule présentée étant plane, ne donne aucune indication sur la géométrie dans l'espace – la stéréochimie (quels atomes sont au-dessus ou au-dessous du plan principal).

Elle n'est qu'une première approche de la molécule.

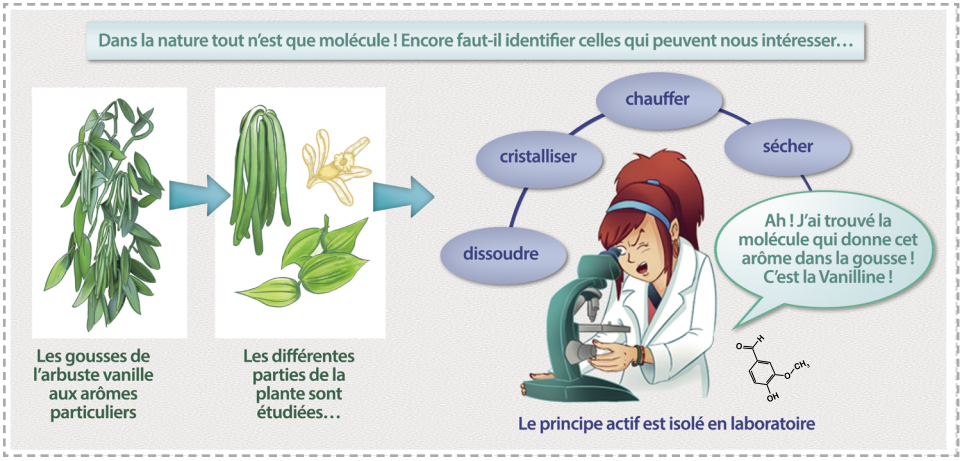



**Figure 5**

La vanilline. Cette molécule est présente dans la « gousse de vanille » de la plante du même nom. Elle fournit l'arôme le plus utilisé au monde.

La formule de la vanilline peut être qualifiée de « relativement simple ». On verra plus loin des formules autrement complexes (la vinorelbine ou le taxotère). Le défi est, pour les chimistes, de réussir à fabriquer ces molécules en laboratoire (voir Encart « Quelques difficultés de la synthèse organique »).

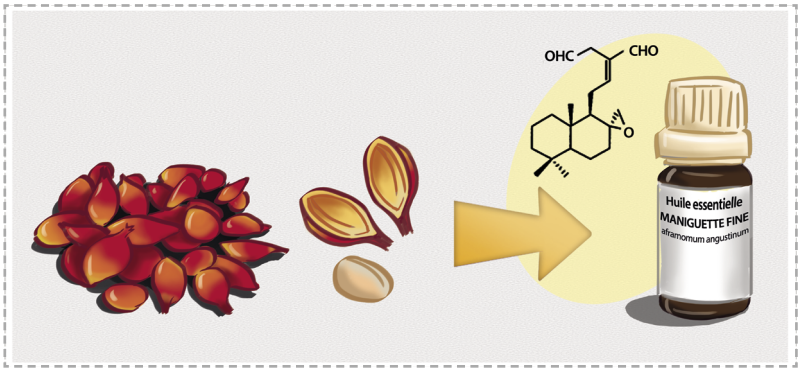



**Figure 6**

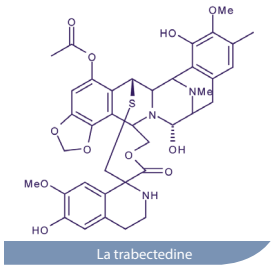
L'aframomum angustinum. Du principe actif à la graine et à un cosmétique « anti-âge ».

**Figure 7**

Patrice André avec des locaux dans un pays étranger : « Avant de travailler sur des plantes, on travaille d'abord avec d'autres personnes ». La recherche des traditions est une véritable enquête ethnobotanique, une aventure digne d'Indiana Jones !

## Les molécules de la mer

Bien évidemment, ce sont les plantes terrestres qui ont été étudiées en priorité. Cependant, le milieu marin présente une végétation tout à fait originale, souvent étrangère à la photosynthèse. Il est susceptible d'offrir de nouvelles molécules, de nouvelles opportunités pour les produits qui nous intéressent.




La trabectedine

**Figure 8**

Valorisation d'un produit issu d'organismes marins : la trabectédine.

Pourtant il a été relativement peu exploré et réserve probablement de belles surprises. Exemple de la saxitonine, puissant anesthésique, les composants des éponges. Extraction de toxines – vidarabine, zicotinoide, trabectédine.

## Identification de la structure moléculaire

Souvent le principe actif de la plante est très dilué, difficile à extraire en quantité suffisante, éventuellement instable et ne peut pas supporter le transport. Il est inutilisable sans transformation. L'étape suivante pour le chimiste est alors d'identifier sa structure moléculaire pour voir s'il peut le fabriquer en laboratoire.

La chimie organique, née au XIX$^{e}$ siècle, a fait depuis des progrès gigantesques. Elle est ainsi capable de déterminer la structure moléculaire complète de nombreuses molécules. Ceci est appliqué aux principes actifs des plantes. Ce travail n'est pas facile, vu la complexité de ces molécules. Le développement des instruments modernes dans les laboratoires (spectrométrie de masse, RMN par exemple) permet maintenant de le pratiquer de façon courante. Mais on a des surprises : si les principes actifs de l'aframodial, par exemple (*Fig. 6*), reste raisonnablement gérables, que dire de celui de la pervenche de Madagascar ? (*Fig. 9*) (voir Encart « Attention : formule chimique ! »).

**Figure 9**

Fleurs de la pervenche de Madagascar.
On en extrait de nombreuses molécules d'intérêt, dont la vinorelbine, commercialisée comme médicament anticancéreux sous le nom de Navelbine.

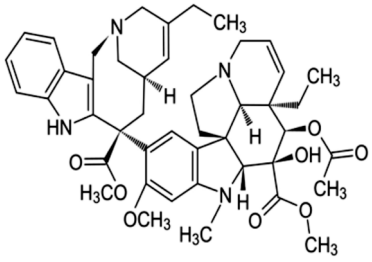



**Figure 10**

Structure de la vinorelbine – Principe actif de la navelbine.

### Pourquoi des formules chimiques ?

Les molécules sont en nombre absolument considérable – pratiquement infini – et il faut bien les désigner d'une façon ou d'une autre.
La « formule chimique » schématise l'arrangement entre les atomes sous forme d'un dessin – un diagramme qui reproduit les liaisons chimiques. Ceci est indispensable pour prévoir les propriétés chimiques, la façon dont elles vont réagir avec les autres produits qui seront à leur contact – donc les difficultés de leur conservation. C'est aussi indispensable pour définir des méthodes de synthèse de ces molécules si on a besoin de se les procurer.
Ces formules ne sont pas là pour être apprises en détail, mais pour faire sentir la complexité de la chimie du vivant, donner un sentiment sur l'infinie variété que la nature a créée et que les chimistes ont su découvrir.

# Synthèse du principe actif et idées nouvelles. Le chimiste devient industriel

## La synthèse organique

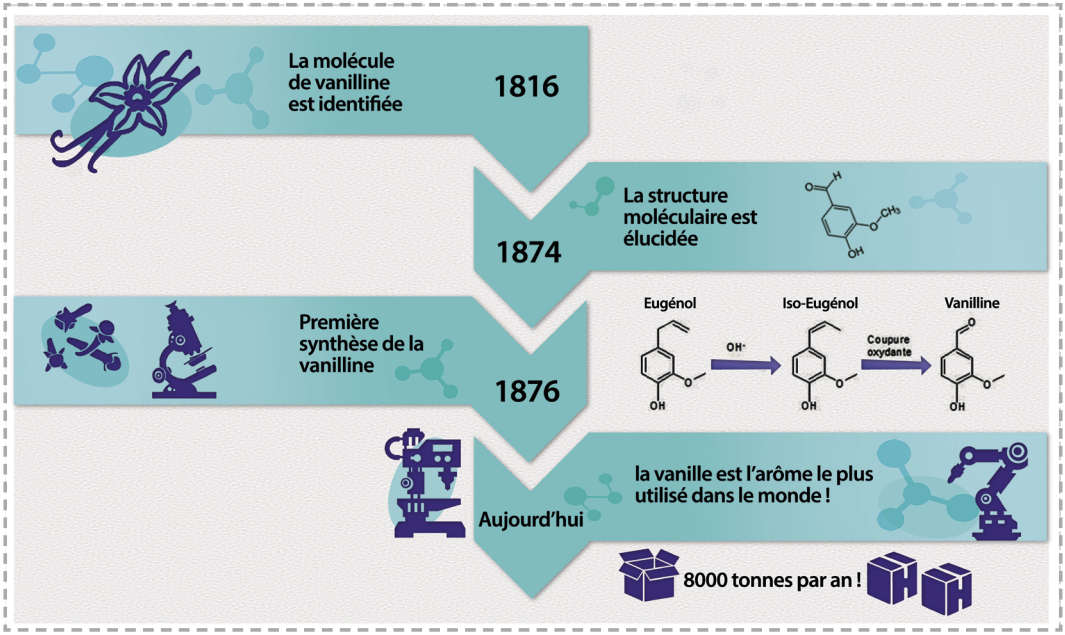
La connaissance de la structure moléculaire complète du principe actif permet – en principe – d'en réaliser la synthèse. Mais, fabriquer des molécules organiques est un travail souvent considérable (voir Encart « Quelques difficultés de la synthèse organique »).

Dans certains cas, il peut suffire d'apporter de légères modifications chimiques au principe actif pour en accroître l'efficacité ou la stabilité. C'est par exemple le cas de l'acide acétylsalicylique, rendu célèbre sous le nom d'aspirine (voir Encart « L'histoire de l'aspirine, le plus vieux des "médicaments modernes" »).

Un autre exemple est donné par la vanilline, évoquée plus haut et à l'origine de l'arôme de la vanille. La molécule a été identifiée en 1816, sa structure a été élucidée en 1874 et elle a été synthétisée pour la première fois en 1876 (*Fig. 11*). Cette synthèse était faite à partir de l'eugénol, extrait des clous de girofle. La vanille est aujourd'hui l'arôme le plus utilisé au monde ; les besoins s'élèvent à 8 000 tonnes par an alors que l'extraction directe n'en fournit que 2 000. La synthèse du « principe actif » a permis de répondre à la demande.

**Figure 11**

Schéma de la synthèse de la vanilline.




La méthode « intellectuellement » la plus générale serait de recréer l'arrangement atomique, atome par atome, jusqu'à réaliser l'édifice final. Cette approche, dite « synthèse totale » se révèle très complexe. La liaison d'un atome supplémentaire sur une structure peut en général se faire sur plusieurs sites – mais il n'y en a qu'un seul qui soit convenable pour copier la molécule originale. Comment s'orienter vers le bon choix ? Ce que la nature a fait, le chimiste ne peut le faire que par de nombreuses opérations – un travail difficile, souvent voué à l'échec et coûteux.

### Quelques difficultés de la synthèse organique

Mettre les atomes les uns à côté des autres comme dans un jeu de construction n'est pas une bonne représentation de la synthèse chimique. La formule simple de la molécule n'en est pas une image suffisamment réelle. Il existe des complications : par exemple les isomères, qui sont des molécules de mêmes formules simples mais qui présentent des différences dans les arrangements atomiques. Plus subtilement, il existe des « stéréoisomères » qui ont des structures analogues sauf en ce qui concerne l'organisation dans l'espace de certaines liaisons.

Et pourtant, l'atome que l'on va vouloir fixer devra l'être sur un site bien déterminé du squelette moléculaire en construction – ce n'est souvent pas celui sur lequel il irait « de lui-même » se fixer.

La démarche utilisée par les chimistes est de bloquer/débloquer certains sites. On « bloque » tous les sites non désirés pour obliger le nouvel atome à se mettre correctement. Mais ensuite, dans un deuxième temps, on débloque tous les autres sites pour restaurer le squelette sur lequel on travaille. Puis on recommence avec un nouvel atome ! Pour « simplifier » les choses, il faut réaliser que les structures moléculaires sont des édifices à trois dimensions : il ne suffit pas de fixer un atome sur le bon partenaire, il faut aussi qu'il ait la bonne orientation. La synthèse d'une molécule un peu complexe peut demander des dizaines d'étapes et beaucoup d'astuces pour savoir comment bloquer/débloquer un site et beaucoup de temps !

La synthèse totale a été marquée par le prix Nobel 1990 attribué à E.J. Corey.

## L'hémisynthèse

Pour simplifier ce travail réellement titanesque, les chimistes ont développé une méthode qui gagne beaucoup d'étapes (quand elle est possible) : c'est **l'hémisynthèse**. Le produit de départ est une molécule déjà issue d'une substance naturelle apparentée à celle que l'on recherche – donc, dans laquelle une bonne partie du travail de synthèse est déjà faite. Le chimiste traite alors les modifications à apporter à la structure de départ – par exemple l'addition d'un groupe fonctionnel sur un site.

Revenons, à titre d'exemple sur la navelbine, évoquée plus haut. La fleur de cette plante est traditionnellement connue pour apaiser certaines douleurs. Le principe actif, élucidé par plusieurs années de travail est présenté sur la *figure 10*. Cette structure compliquée serait obtenue par une liaison entre deux molécules plus simples toutes deux présentes dans la plante d'origine. Ce travail a été fait : on a pu extraire ces deux molécules et les lier l'une à l'autre en laboratoire. Le produit

est aujourd'hui commercialisé sous le nom de « Navelbine » et constitue un médicament anticancéreux très utilisé.

**Figure 12**

Le chimiste permet le développement de capacités industrielles pour produire médicaments ou parfums, arômes etc. destinés à être commercialisés.

## Le taxotère

La synthèse du taxotère (*Fig. 14*) donne un autre exemple d'hémisynthèse.

Le produit recherché est le taxotère (*Fig. 13*). Le point de départ vers sa synthèse est la 10-désacétylbaccatine III (DAB) trouvée dans les feuilles de l'if à 1 g/kg, et qui donne par addition d'un groupe d'atomes relativement simple le taxol ou, par une voie légèrement différente, une autre molécule, le taxotère. Aujourd'hui, il est utilisé en chimiothérapie anti-cancéreuse ; c'est un médicament très recherché. C'est la simplicité et le coût modéré apporté par l'hémisynthèse qui a permis ce succès – dû à des équipes françaises (CNRS). Le gain est spectaculaire car le taxol (lui-même anti-cancéreux) ne se trouve que dans les écorces de l'if et à une concentration très faible (environ 100 mg/kg d'écorce) et nécessite l'abattage des arbres.

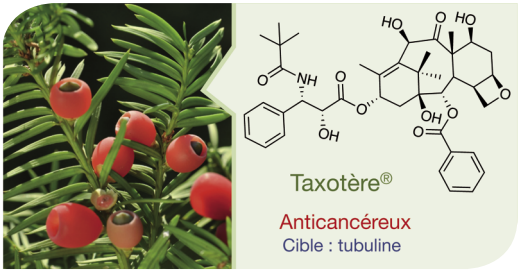



**Figure 13**

Structure du taxotère.

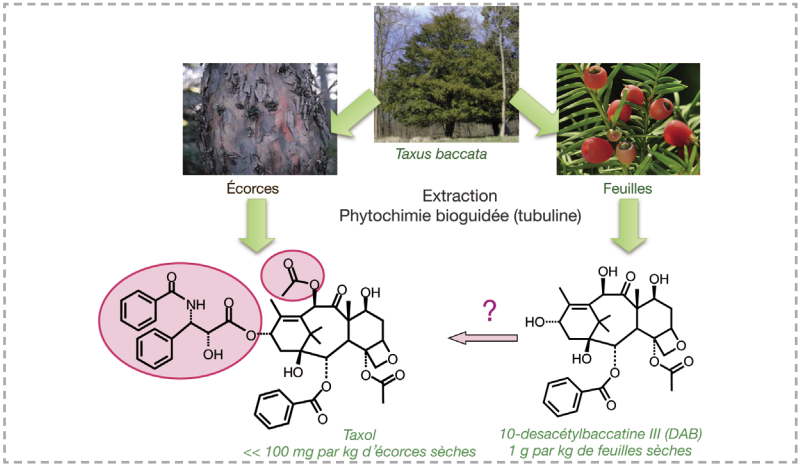



**Figure 14**

La synthèse du taxotère.

## L'histoire de l'aspirine, le plus vieux des « médicaments modernes »

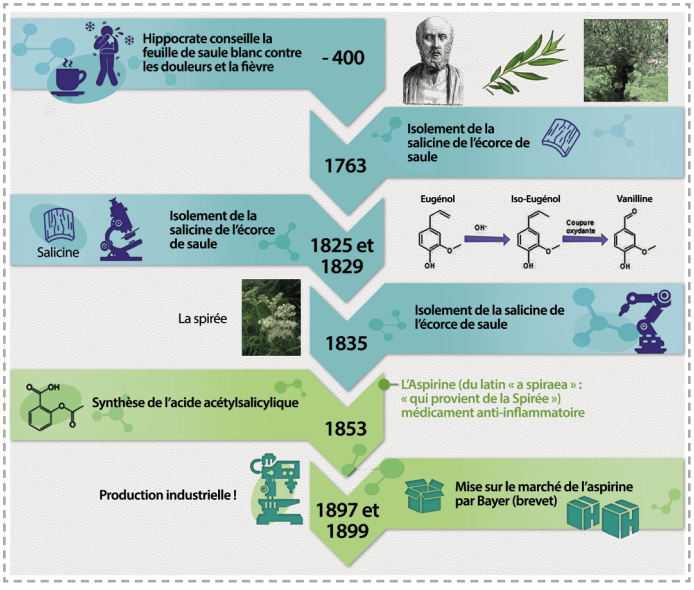



**Figure 15**

Saule blanc et reine-des-prés à l'origine de l'aspirine.

Hippocrate – le père grec de tous les médecins, qui vivait au IV$^{e}$ siècle avant J.-C. disait « La nature est le premier médecin et ce n'est qu'en favorisant ses effets que l'on obtient quelques succès ».
Si de nos jours l'aspirine utilisée est obtenue par synthèse chimique, ses principes actifs proviennent donc de la flore commune – la reine-des-prés et le saule blanc.

### L'Aspirine en quelques dates

–400 : Hippocrate conseille la tisane de feuilles de saule blanc pour soulager douleurs et fièvres.
1763 : utilisation de l'écorce de saule recommandée par Edward Stone pour soigner les fièvres.
1825 et 1829 : isolement de la salicine de l'écorce de saule par Francesco Fontana et Henri Leroux.
1835 : préparation de l'acide salicylique à partir de la spirée par Karl Jakob Löwig.

### L'Aspirine, médicament anti-inflammatoire

1853 : synthèse de l'acide acétylsalicylique par Charles Fréderic Gerhard.
1897 : production industrielle de l'acide acétylsalicylique par la firme Bayer (Félix Hoffmann).
1899 : mise sur le marché de l'aspirine par Bayer (Brevet). Le nom « Aspirin » provient du latin « a spiraea » signifiant « qui provient de la spirée ».

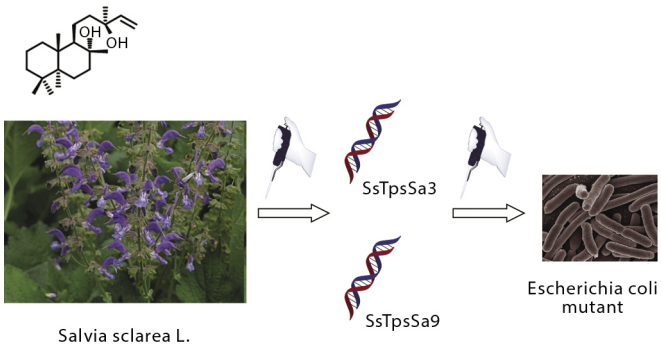
# Et pour le futur ? Vers les techniques biotechnologiques ?

La nature est le grand modèle pour les chimistes qui veulent retrouver en laboratoire les molécules des plantes. Elle utilise des mécanismes complexes – gènes, enzymes, microorganismes – pour réaliser toutes les molécules qu'elle présente et qui nous fascinent. Copier ces mécanismes – ou d'abord « s'en inspirer » – est une voie très étudiée à l'heure actuelle par les chimistes. On espère qu'elle permettra d'obtenir de nouvelles molécules par des voies beaucoup plus aisées que nos approches actuelles de constructions purement chimiques.

Un exemple : la fabrication d'un parfum célèbre tiré de l'ambre. Le principe actif de ce parfum est l'ambrox. Une molécule de formule et de structure proches de l'ambrox est la molécule sclaréol, que l'on trouve dans « la sauge sclarée ». On a pu identifier dans le génome de la sauge, le gène qui permet la synthèse de la sclarée. Les techniques du génie génétique ont permis d'extraire ce gène, puis de le transférer dans un microorganisme (Escherichia Coli) qui le produit ainsi « naturellement ». Une toute nouvelle voie pour fabriquer des molécules – une voie étonnante qu'il est probablement trop tôt toutefois pour qualifier de « voie d'avenir ». **« Attention aux OGM !» ou « Merci les OGM ! » ?**

**Figure 16**

Formule du sclaréol et schéma de sa synthèse par voie génétique (cf. « La chimie et les sens », EDP Sciences, 2018, p.97).



La synthèse chimique est remplacée par une manipulation de micro-organismes – comme celle que l'on pourrait trouver chez les fabricants de bière. Est-ce que cela se développera ? Cela dépend du prix de fabrication et de la force des opposants à l'utilisation des OGM !

La progression du nombre de médicaments ne va sûrement pas se ralentir. Au début du XX$^{e}$ siècle, il existait une centaine de médicaments issus de substances naturelles et environ 20 médicaments de synthèse. Aujourd'hui, ce sont plus de 100 molécules de synthèse. L'exploration de la biodiversité est ralentie par ses difficultés intrinsèques ; les méthodes en développement seront les bienvenues !

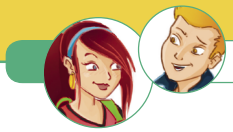
## Conclusion

**La chimie pour explorer la biodiversité.**

**Pourquoi les molécules rencontrées dans ce chapitre sont-elles toutes compliquées ? Leur structure peut aller de modérément (l'aframodial) à très compliquée (la navelbine).**

**Est-ce obligatoire quand il s'agit de médicament, de parfum, arome ou cosmétique ? La réponse est « oui », car elles proviennent toutes de substances naturelles – en l'occurrence de plantes – où elles jouent un rôle – pour le maintien de la vie. Les molécules de base du vivant – les protéines, l'ADN, etc. – sont toutes très compliquées au point de vue chimique. C'est normal : la vie est un miracle de la nature et repose sur des mécanismes complexes. Les molécules – nos médicaments, parfums, cosmétiques et aromes – qui interagissent avec elles ont donc également besoin de cette complexité chimique.**

**La vie d'aujourd'hui nous fait rechercher ces molécules compliquées, actives pour nos besoins. Le chimiste, on l'a vu est à l'initiative : il isole les molécules actives qui se trouvent dans les plantes, les identifie, en détermine la structure moléculaire, définit des procédés permettant de les fabriquer.**



**Sa tâche est double : mettre les produits à disposition pour les proposer aux utilisateurs. Mais aussi, initier des procédés de fabrication économiques. Pour cela, les chimistes inventent sans relâche de nouvelles méthodes. Actuellement, ce sont vers les procédés inspirés de la nature et étudiés par les biologistes, qu'ils se tournent. Cette approche va apporter beaucoup de nouveautés et de progrès réels aussi peut-on espérer, compte tenu du rythme auquel la connaissance des mécanismes biologiques progresse.**

# OÙ TRAVAILLENT LES CHIMISTES

Pour participer à la création et à la fabrication des produits de notre vie quotidienne, les chimistes travaillent dans des laboratoires publics ou privés de grands groupes ou de petites et moyennes entreprises et ce dans tous les secteurs industriels où leur expertise relative à la maitrise de la matière et des matériaux est nécessaire.

## *Les secteurs industriels concernés*

Beaucoup d'entreprises fabriquent des produits pour des secteurs industriels particuliers ou diffusés auprès du grand public.

La liste suivante illustre les secteurs industriels des spécialités chimiques décrites dans les précédents chapitres de cet ouvrage :

- les parfums et cosmétiques ;
- les savons, détergents et produits d'entretien ;
- l'agrochimie (produits de protection des plantes, produits phyto-sanitaires) ;
- les peintures, laques, vernis et encres ;
- les colles et adhésifs ;
- les matériaux plastiques techniques et composites ;
- le papier ;
- les colorants ;
- les fibres synthétiques ;
- les piles et batteries...

À partir des produits de la chimie de base, notamment des grands intermédiaires et aussi d'extraits végétaux ou animaux, des molécules plus complexes, issues d'un processus de recherche et développement

intense (chimie fine) sont produites en quantité plus modeste. Ces produits peuvent être très coûteux.

Cette chimie fine fournit de très nombreux secteurs industriels (et non le grand public) de notre vie quotidienne : la chimie pharmaceutique, l'industrie des cosmétiques, les matériaux pour l'électronique et l'informatique, les produits phytosanitaires, …

Il faut aussi noter que des produits chimiques produits en gros tonnages par les grands groupes chimiques industriels (chimie de base) servent de matière première pour différentes applications industrielles qui concernent notre vie quotidienne. Dans le domaine de la chimie minérale, c'est le cas par exemple du carbonate de sodium ($Na_2CO_3$), indispensable pour l'industrie du verre et des lessives. La chimie organique utilise principalement les produits de la pétrochimie et de son aval : matières plastiques, caoutchouc synthétique et élastomères… Elle emploie aussi les matières premières renouvelables, issues pour la plupart de l'agriculture : les céréales dont le maïs, le colza, le tournesol, les pommes de terre, la betterave sucrière, mais aussi des produits animaux tels que le suif, les graisses, les peaux… Le poids économique de cette chimie d'origine agricole est estimé à 15 % du total de l'activité organique. Cette part va augmenter grâce au développement des biotechnologies et des bioraffineries.

De nombreux autres secteurs industriels sont donc également concernés par la chimie de la vie quotidienne comme :

- l'industrie pharmaceutique ;
- l'agroalimentaire (alimentation, nutrition) ;
- les écrans plats, la téléphonie, tous les matériaux de l'électronique… ;
- les textiles techniques ;
- l'environnement ;
- les transports automobile, aéronautique, ferroviaires ;
- l'industrie pneumatique ;
- le BTP (bâtiment, travaux publics)… ;
- le traitement de l'eau ;
- le traitement et recyclage des déchets ;
- les énergies fossiles ;
- les nouveaux carburants ;
- l'énergie nucléaire ;
- les énergies renouvelables…

## Les domaines d'activités

Les domaines d'activités des chimistes dans ces différents secteurs industriels sont diversifiés. On les retrouve en :

- recherche et développement ;
- procédés ;
- production et maintenance ;
- analyse laboratoire et contrôle qualité ;
- qualité, hygiène, sécurité et environnement ;
- réglementation : assurance qualité et affaires réglementaires ;

mais aussi en :

- logistique et achats ;
- marketing et ventes.

## Les niveaux de formation

À partir de la classe de 3e :

- **CAP** en 2 ans pour des emplois d'ouvrier ou d'employé qualifié ;
- **Bac professionnel** en 3 ans sous statut de lycéen ou d'apprenti qui permet l'insertion professionnelle.

À partir de la classe de seconde générale et technologique :

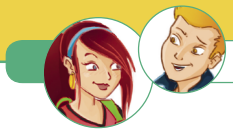
- **Bac technologique** en 2 ans qui permet de se diriger vers l'enseignement supérieur en BTS ou DUT (Bac +2) ; licence professionnelle (Bac +3) et au-delà.

Accès aux métiers de techniciens

**Accès aux métiers d'ingénieurs** (ou de chercheurs) Bac +5/8 :

- écoles d'ingénieurs : Bac +5 (dont 2 ans de classes de préparation intégrée ou non selon les écoles) ;
- universités : Bac +5 ;
- doctorat : Bac +8, formation en 3 ans en laboratoire de recherche (universitaire ou industriel).

Pour en savoir plus : http://www.mediachimie.org/espace-metiers



Tous les emplois sont ouverts aux hommes comme aux femmes.

- Les quatre domaines d'activité – R&D, Procédés, Production et maintenance, Analyse et contrôle qualité – proposent des emplois en tant que :
  - agents de laboratoire ou aide chimiste : CAP, Bac Pro, Bac Techno ;
  - techniciens : Bac +2/3 ;
  - ingénieurs (et postes de responsabilités au-delà) : Bac +5/8.
- Le domaine de la règlementation recrute au niveau technicien et ingénieur.
- Le domaine marketing/vente et logistique achats proposent des emplois à Bac +2/3 et Bac +5/8 avec éventuellement des formations complémentaires qui peuvent exister dans les cursus de formation initiale ou suivis en alternance.

Des fiches métiers détaillées et des vidéos d'exemples de ces différents emplois sont gratuitement accessibles et téléchargeables sur http://www.mediachimie.org/fiche-metier
et http://www.mediachimie.org/ressources-enseignants/313/type-467?items_per_page=40

5 PARTIE

# LE COIN DES JEUX

## ÉNIGMES

## MOTS CROISÉS

# ÉNIGMES

Des solutions détaillées sont proposées sur le site de Médiachimie dans l'espace éducation collège (mediachimie.org).
Le niveau requis pour chaque exercice est précisé grâce au symbole : ★ (de la 6e à la 4e) ; ★★ (à partir de la 3e).

## 1. Le nutri-score★

Max : « C'est intéressant le nutri-score, mais comment est-il calculé ? »
Léa : « C'est assez simple, il y a des points négatifs et des points positifs. Pour un aliment solide donné, les critères négatifs dépendent de l'apport énergétique des graisses saturées, du sucre et du sel contenus dans 100 g de cet aliment, et les critères positifs dépendent de l'apport en fruits, légumes ou noix, fibres et protéines. Pour chacun des critères négatifs, une note A est attribuée de 0 à 10 et pour chacun des critères positifs une note B de 0 à 5. On calcule ensuite la différence A-B, qui donne un résultat négatif ou positif ».

A - Vert : de -15 à -2.
B - Jaune : de -1 à 3.
C - Orange : de 4 à 11.
D - Rose : de 12 à 16.
E - Rouge : 17 à 40.

Un paquet de biscuits chocolatés affiche les quantités suivantes (pour 100 g) :
énergie : 2 140 kJ (noté 7) ; matières grasses saturées : 16 g (noté 10) ; sucre : 32 g (noté 7) ; sel : 0,75 g (noté 8) ; protéines : 6,5 g (noté 4) ; fibres : 5,2 g (noté 5).

***Quel est le nutri-score de ces biscuits ?***

.....

.....

**Coup de pouce**

Ajoutez les notes correspondant à l'énergie, aux graisses saturées, au sucre et au sel et déduisez les notes correspondant aux protéines et aux fibres.

**Réponse :** Le nutri-score de ces biscuits est E (rouge).
**Solution :** 7 + 10 + 7 + 8 - 4 - 5 = 23

## 2. Le verre flotté★

Léa : « Sais-tu qu'avec la technique de « verre flotté », le verre fondu est coulé sur une surface d'étain fondu et qu'il n'y a plus besoin de polir le verre qui présente une surface parfaitement plane ? »
« Oui, répond Max, en un an, un four à verre flotté peut produire un ruban de verre long de 6 000 km, qui, une fois refroidi, est découpé en plaques rectangulaires ».

***La largeur du ruban de verre est de 3,21 mètres. Quelle est la surface de verre produite par un tel four en un an ?***

.....

.....

**Réponse :** 19,26 $km^2$.

**Solution :** 6 000 km = 6 000 000 m. La surface produite en un an est donc égale à : 6 000 000 × 3,21 = 19 260 000 $m^2$ = 19,26 $km^2$

**Coup de pouce**

Le verre produit en un an, même s'il est découpé au fur et à mesure de sa production, peut être assimilé à un rectangle de 6 000 km de long.

## 3. Le béton★

Max : « Avec quoi c'est fait le béton ? »
Léa : « C'est comme une recette de cuisine : il faut mélanger 20 kg de ciment avec 45 kg de gravier, 35 kg de sable et 10 litres d'eau ».
Max : « Et avec ta recette, tu fabriques quel volume de béton ? »

***Pouvez-vous répondre à la question de Max sachant que le béton a une masse volumique de 2,5 kg/$dm^3$ ?***
L'eau intervient dans les réactions chimiques pendant la prise du béton ; on ne tiendra pas compte de la perte d'eau au cours du séchage.

.....

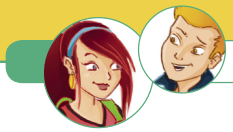
.....

**Réponse** : 44 $dm^3$.

**Solution :** Le volume est égal au quotient de la masse par la masse volumique : 110/2,5 = 44 $dm^3$

**Coup de pouce**

Le mélange proposé par Léa nécessite 110 kg d'ingrédients. 2,5 kg de béton occupent un volume de 1 $dm^3$.



## 4. Conductivité thermique★

Max : « Les murs de notre maison en bois sont isolés avec 10 centimètres de laine de roche. À ton avis, quelle épaisseur de brique pleine faudrait-il pour isoler autant que ces dix centimètres de laine de roche ? »
Léa : « c'est facile, la conductivité thermique de la brique est égale à 0,84 watt par mètre et par degré et celle de la laine de roche à environ 0,04 watt par mètre et par degré. »

***Que répondriez-vous à Max ?***

.....

.....

**Coup de pouce**

Si un matériau a une conductivité thermique double d'un autre, il faudra une épaisseur double pour obtenir un coefficient d'isolation équivalent.

**Réponse :** 2,10 m de brique pleine pour isoler autant que 10 cm de laine de roche.

**Solution :** La laine de roche est donc 21 fois plus isolante que la brique pleine. Il faudrait une épaisseur de brique pleine 21 fois plus grande que l'épaisseur de laine de roche :
0,84/0,04 = 21 et 0,10 × 21 = 2,10 m

## 5. Les oxydes d'azote★

Max : « Je n'y comprends rien, d'un côté on dit que l'oxyde d'azote est un polluant dangereux pour la santé, et de l'autre que notre corps fabrique de l'oxyde d'azote et que c'est bon pour le système cardiovasculaire, la mémoire, la musculature… »
Léa : « Le monoxyde d'azote de formule NO fabriqué par notre corps intervient directement au niveau des cellules et en quantité très faible. Mais dans l'atmosphère, le monoxyde d'azote et le dioxyde d'azote de formule $NO_2$ qui sont générés en grande quantité par les activités agricoles et industrielles contribuent à l'effet de serre d'une part et d'autre part sont très nocifs pour nos poumons. Par ailleurs, ces oxydes d'azote sont une des causes des pluies acides. »
Le dioxyde d'azote réagit en effet avec l'eau pour donner une solution d'acide nitrique :
$H_3O^+ + NO_3^-$.

**Coup de pouce**

Combien d'atomes d'oxygène la solution $H_3O^+ + NO_3^-$ contient-elle ?

***Combien de molécules d'eau sont-elles nécessaires pour réagir avec une molécule de dioxyde d'azote ?***

.....

.....

**Réponse :** 3.

**Solution :** La solution $H_3O^+ + NO_3^-$ contient trois atomes d'oxygène. Il faut donc trois molécules d'eau pour réagir avec le dioxyde d'azote.

## 6. La biomasse★★

Max « Sais-tu que la biomasse et les déchets permettent de produire 9,7 % de la consommation mondiale d'énergie primaire (c'est-à-dire non transformée) ? »
Léa « Oui, la biomasse et les déchets utilisés pour produire de l'énergie représentent environ 1,33 millions de tonnes d'équivalent pétrole (Mtep) ».

***Quelle est la consommation mondiale d'énergie primaire, en millions de tonnes d'équivalent pétrole ?***

.....

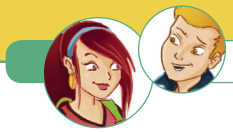
.....

**Coup de pouce**

Si 1,33 Mtep représente 9,7 % de la consommation mondiale, quelle quantité représenterait 1 % de cette consommation, puis 100 % ?

**Réponse :** 13,7 Mtep.

**Solution :** Un pourcentage de 1 % correspond à 9,7 fois moins qu'un pourcentage de 9,7 %. 1 % de la consommation mondiale correspondent donc à 1,33/9,7 Mtep et (1,33/9,7) × 100 Mtep, soit environ 13,7 Mtep la totalité de cette consommation.



**Coup de pouce**

Dans la masse molaire de $(PbCO_3)_2$ $Pb(OH)_2$, déduire la masse correspondant aux atomes de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, puis en déduire la masse atomique du plomb (trois atomes).

## 7. Oxyde de zinc *versus* céruse★★

Léa : « En raison de sa couleur blanche et de son opacité, on a longtemps utilisé la céruse (un carbonate de plomb basique) comme fard ou comme pigment dans des peintures, avant de s'apercevoir de sa toxicité pouvant entraîner le saturnisme (intoxication au plomb) ».
Max : « Oui, c'est pourquoi, en peinture, on l'a remplacé par du blanc de zinc, un monoxyde de zinc de formule moléculaire ZnO ».

La masse atomique du zinc est égale à 65,4 et celle de l'oxygène à 16. Dans une mole d'oxyde de zinc, la masse du zinc représente donc environ 80 % de la masse totale. La masse molaire de la céruse est égale à 775,6 et sa formule est $(PbCO_3)_2$ $Pb(OH)_2$.

***Sachant que la masse atomique du carbone est égale à 12 et celle de l'hydrogène à 1, quelle est la masse atomique du plomb et quel est le pourcentage représenté par la masse du plomb dans une mole de céruse ?***

.....

.....

**Réponse :** 207,2. 80 %.
**Solution :** Dans la formule de la céruse, $CO_3$ a une masse égale à 60 et un groupe OH une masse égale à 17. On en déduit la masse atomique du plomb : (775,6 - 2 × 60 - 2 × 17)/3 = 207,2. Dans une mole de céruse, le plomb représente donc 3 × 207,2/775,6, soit un peu plus de 80 %.

## 8. L'eau de Javel★

Max : « Sais-tu que de l'eau de Javel a été utilisée par la NASA pour désinfecter les combinaisons des cosmonautes à leur retour sur terre ? »
Léa : « Oui, c'est un puissant désinfectant. Son nom vient du quartier de Javel à Paris où le chimiste Berthollet a installé une manufacture de produits chimiques. Il s'agit d'une solution d'hypochlorite de sodium NaClO dont les éléments constitutifs sont le sodium (Na), l'oxygène (O) et le chlore (Cl). »

Max : « Oui, mais il y a différentes concentrations des eaux de Javel en chlore. L'unité est le degré chlorométrique (° Chl) qui correspond à une concentration de 3,17 grammes de chlore actif par litre de solution. On trouve aussi la concentration exprimée sous forme de pourcentage de la masse de chlore actif par rapport à la masse de la solution. L'eau de Javel à usage domestique est généralement dosée à 2,6 % et a une densité d'environ 1,03 ».

**Coup de pouce**

Un degré chlorométrique correspond à 3,17 grammes de chlore actif pour 1,03 kg de solution.

***Quel est le degré chlorométrique d'une eau de Javel à usage domestique ?***

.....

.....

**Réponse :** 8,44° Chl.

**Solution :** Un litre d'eau de Javel à usage domestique pèse environ 1 030 grammes. Une eau de Javel dosée à 2,6 % contient donc 2,6 × 1030/100 = 26,78 grammes de chlore actif. Son titre chlorométrique est : 26,78/3,17 = 8,44° Chl.

## 9. Le corps humain conducteur électrique ?★★

Léa : « Sais-tu comment on mesure le degré d'hydratation de la peau ? »
Max : « Oui, avec un cornéomètre qui mesure la conductivité électrique de la peau : plus la peau est hydratée, mieux elle conduit l'électricité ».
Léa : « Mais il y a une grosse différence entre un courant de 0,5 milliampères qui ne génère que des picotements et un courant de plus de 0,5 ampères qui peut provoquer la mort par électrocution ».
L'impédance Z du corps humain est déterminée à l'aide de la formule $Z^2 = R^2 + X^2$, où R désigne la résistance et X la réactance (en ohms).

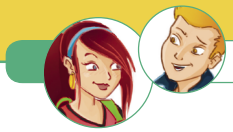
**Coup de pouce**

Utiliser la formule $Z^2 = R^2 + X^2$.

***Quelle est l'impédance d'une peau ayant une résistance de 1 500 ohms et une réactance de 1 000 ohms ?***

.....

.....



**Réponse :** ≈ 1 803 ohms.

**Solution :**

$Z^2 = 1\,500^2 + 1\,000^2 = 3\,250\,000$

$Z = \sqrt{3\,250\,000} \approx 1\,803$ ohms

## 10. Les nouveaux médicaments★★

Léa : « Lorsqu'une molécule est testée en vue de la création d'un nouveau médicament, comment procède-t-on ? »
Max : « C'est un processus très long. En général, les tests sont d'abord réalisés sur des animaux ou des cellules animales avant de passer éventuellement à l'homme, si l'on est certain que ces tests ne peuvent avoir de conséquences dramatiques pour les volontaires testeurs. On procède ensuite en « double aveugle », c'est-à-dire que la moitié des volontaires reçoivent la nouvelle molécule et l'autre moitié reçoivent un placebo (une substance inactive) sans que les intéressés sachent ce qu'ils reçoivent afin de ne pas biaiser les résultats. Ensuite, on compare les effets ou l'absence d'effets dans les deux groupes ».

**Coup de pouce**

Calculer
$1,5 - 1/\sqrt{n}$ et
$1,5 + 1/\sqrt{n}$ pour
$n = 25$ et pour
$n = 625$.

Dans un test effectué sur $n$ personnes, l'effet positif attendu d'une molécule est estimé à 1,5 (la référence étant 1), avec un intervalle théorique de confiance à 95 %. Une formule simplifiée donnant les bornes de cet intervalle est $[1,5 - 1/\sqrt{n}\ ;\ 1,5 + 1/\sqrt{n}]$.

***Quelles sont les bornes de cet intervalle pour un nombre de personnes égal à 25 et à 625 ?***
***Dans quel échantillon les résultats seront-ils significatifs ?***

.....

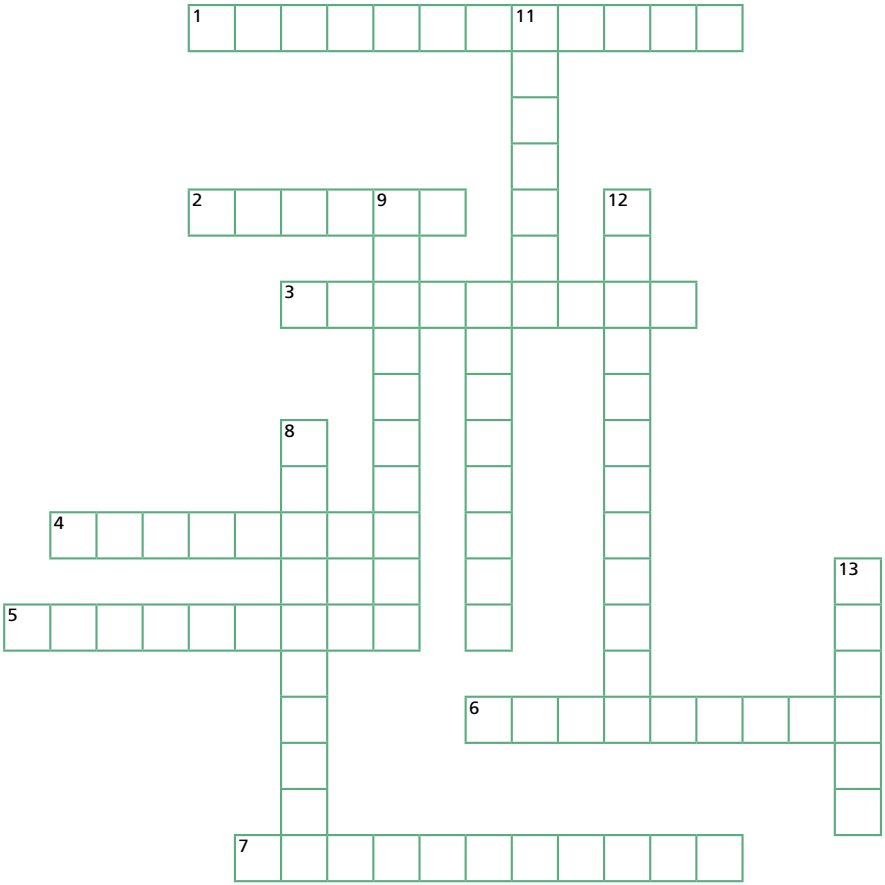
.....

**Réponses :** 1,9. 1,54.
Les résultats pour l'échantillon de 25 personnes sont très peu significatifs au contraire de ceux obtenus avec l'échantillon de 625 personnes.

**Solution :**

$1,5 - 1/\sqrt{25} = 1,5 - 0,4 = 1,1$ ; $1,5 + 1/\sqrt{25} = 1,5 + 0,4 = 1,9$.
$1,5 - 1/\sqrt{625} = 1,5 - 0,04 = 1,46$ ; $1,5 + 1/\sqrt{625} = 1,5 + 0,04 = 1,54$.

# MOTS CROISÉS


1
11
2
9
12
3
8
4
13
5
6
7

## Définitions

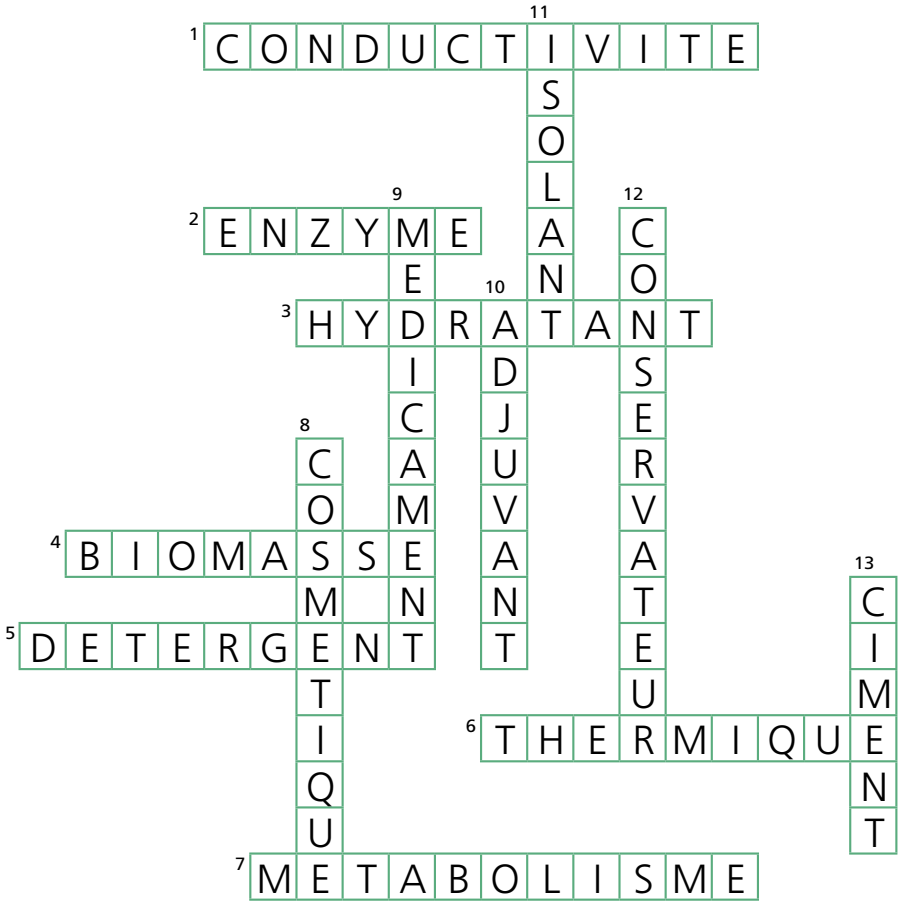
**Horizontalement :**

1. permet plus ou moins le passage de chaleur ou d'électricité dans un matériau
2. substance qui agit comme catalyseur dans les transformations chimiques
3. qui fixe l'eau sur la peau
4. ensemble de la matière organique
5. produit qui nettoie en dissolvant les impuretés
6. relatif à la chaleur
7. ensemble des transformations chimiques qui interviennent dans l'organisme

**Verticalement :**

8. relatif aux soins de beauté
9. substance servant de remède
10. substance ajoutée à un médicament
11. qui empêche la propagation de la chaleur ou de l'électricité
12. produit destiné à améliorer la conservation des aliments
13. un des constituants du béton ou du mortier

## Solution :


1 CONDUCTIVITE
11 SOLANT
2 ENZYME
9 E
12 COSERVATEUR
3 HYDRATANT
10 ADJUVANT
I
C
8 CAMOMENT
4 BIOMASSE
5 DETERGENT
TIQU
6 THERMIQUE
13 CIMENT
7 METABOLISME